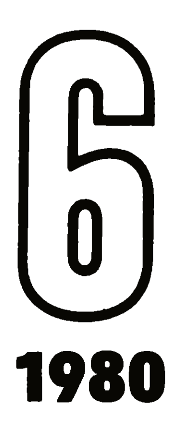
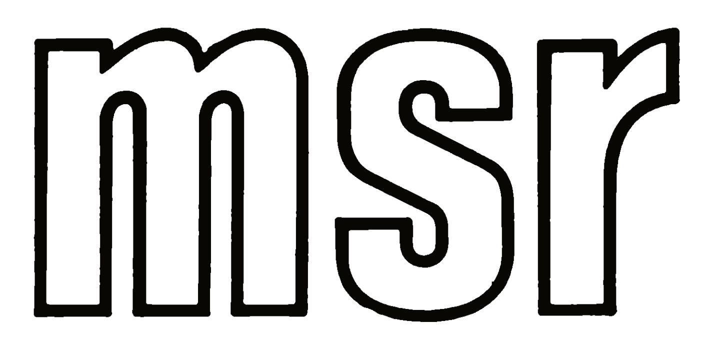


1980



messen · steuern · regeln

23. Jahrgang
Heft 6
Juni 1980



Index 32525
ISSN 0026-0347

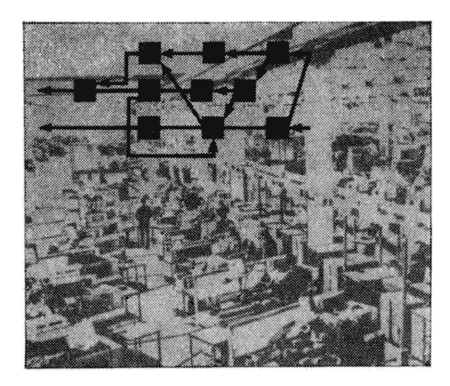
VEB
Verlag Technik
Berlin

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,— M



messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

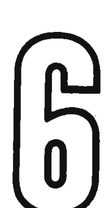


Die meisten Fertigungsprozesse im Maschinenbau, in der Elektrotechnik/Elektronik, im Gerätebau u. a. sind Stückgutprozesse. In zunehmendem Maße werden zur effektiveren Beherrschung dieser Prozesse mathematische Methoden der Prozeßanalyse und der Synthese von Steuerungen angewendet.
Einige Beiträge dieses Heftes beinhalten Lösungsvorschläge zu dieser Problematik.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:
Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Die Zeitschrift wurde 1979 mit der Ehrenplakette der KDT in Silber ausgezeichnet.



23. Jahrgang
Juni 1980

VEB VERLAG TECHNIK

ISSN 0026-0347

AUFSÄTZE

Dipl.-Ing. *J. Alder* und Dr.-Ing. *M. Strüver*, Leipzig[1])

Prozeßablaufplan und Steuerungsablaufplan – Hilfsmittel zum algorithmischen Entwurf von Steuerungen

IA 5.6.0.

0. Einleitung

Nur eine zweckentsprechende und gründliche Prozeßanalyse kann die Basis zu einer einwandfreien Automatisierung sichern. In [1] befinden sich bereits Hinweise, die in Anwendung gebracht werden.

Ein binär zu führender Prozeß muß aus Gründen der Zweckmäßigkeit unter diesem Aspekt analysiert werden. Das Ergebnis einer binären Prozeßanalyse ist eine Prozeß-Führungsvorschrift mit Hilfe einer sequentiellen Wortfunktion auf der Basis der Automatentheorie und der allgemeinen Strukturtheorie hierarchischer Systeme.

Die Anregung zu einem solchen Vorgehen ist z. B. in [2] zu finden. Eine für den praktischen Einsatz gedachte Methode soll in ihren Grundzügen vorgestellt werden, eine ausführliche Beschreibung befindet sich in [3].

1. Prozeßanalyse

Eine Analyse ist selbstverständlich nur möglich, wenn der Gegenstand bereits vorliegt, also ist es eine richtige Voraussetzung, daß der binär zu steuernde Prozeß bereits vorhanden sei. Dabei muß er nicht bereits vergegenständlicht sein, es genügt, wenn sein Ablauf zum Zwecke einer Energiewandlung, eines Transportes, einer Stoffumwandlung, einer Datenverarbeitung oder einer Gerätefertigung usw. bekannt ist.

1.1. Dekomposition des Prozesses

Die hinreichend bekannte Form des ersten Schrittes ist die der Zerlegung eines Gesamtprozesses in Teilprozesse TP. Sie werden je nach spezieller Fachterminologie auch Funktionsgruppen, Operationen o. ä. bezeichnet. Hier wird durchgängig der Begriff Teilprozeß benutzt. Er stellt je nach „Prozeßebene" einen reinen Organisationsprozeß oder auch einen reinen Produktionsprozeß oder eine Mischung daraus dar, so daß es keinerlei Vorschrift gibt, ob der TP Verbindung mit der eigentlichen Technologie hat oder nicht. Diese Verallgemeinerung setzt voraus, daß der Mensch ebenso in die Prozeßführung integriert wird wie der zu entwerfende Automat oder das Steuerprogramm eines Rechners.

Wichtige Aspekte der Dekomposition sind:

a) Die hierarchische Ordnung der TP von „oben" nach „unten"; es kommt besonders darauf an, daß ein TP einen oder mehrere andere TP unmittelbar beeinflußt, die ihrerseits jedoch voneinander unabhängig zeitlich parallel ablaufen.

b) Die Ordnung auf gleicher Hierarchie-Ebene ist dann gegeben, wenn sich an einen TP ein weiterer anschließt, der auch wiederholt (zyklisch) „aufgerufen" werden kann. Es dürfen sich auch mehrere TP in diesem Sinne anschließen, die aber nicht zeitlich parallel arbeiten. Außerdem befinden sich TP auf gleicher Ebene, die gemäß a) untergeordnet wurden.

c) Jeder TP erhält einen eigenen Namen aus der technologischen Fachsprache.

d) Jeder TP wird in ein Rechteck mit seinem Namen eingetragen und erhält eine Ordnungszahl.

e) Die TP werden durch Linien miteinander verbunden, wie es gemäß a) und b) die Analyse ergeben hat. Zu jeder Linie gehören sogenannte Kopplungen, die die notwendige Kommunikation zwischen den TP sichern.

f) Jeder TP ist ein in sich abgeschlossener Prozeß, der zu seiner Umwelt ausschließlich über die Kopplungen und die speziell von ihm zu steuernden technologischen Prozeßparameter Verbindung hat. Bei Organisationsprozessen kann auch die Verbindung zur Technologie fehlen.

1.2. Prozeßablaufplan und Kopplungsliste

Da jeder TP im Sinne von 1.1. f) in sich abgeschlossen sein soll, ist er als Automat darstellbar. Jeder Eingriff in den Prozeß, jede Schalthandlung, jeglicher Stellvorgang sind Input im Sinne der Automatentheorie. Natürlich müssen auch gleichzeitig mehrere Stelleingriffe vorgenommen werden können, sie zählen insgesamt als ein Input. Der Begriff für alle den Prozeß aktivierenden Handlungen heißt Operation, gleichgültig, wie viele Einzeleingriffe gleichzeitig ausgeführt werden müssen. Jede solche Operation erhält einen Namen, der streng an die Technologie gebunden ist. Es ist also nicht richtig, „Motor 4 einschalten" als Name zu wählen, sondern es muß heißen „Hobeln START" oder „Kohle nach Tagesbunker 3" usw.

Die Beobachtung der Prozeßzustandsveränderung führt bei einem ganz bestimmten Prozeßzustand zur nächsten Operation und diese wiederum zu einem neuen Zustand usw. Die Prozeßzustände, die als Kriterien für die eine oder folgende Operation dienen, sind State im Sinne der Automatentheorie. Jeder Prozeßzustand setzt sich aus einer oder mehreren charakteristischen Größen zusammen, die mit den ihnen eigenen Schwellwerten signifikant für einen ganz bestimmten Prozeßzustand sind. Jede charakteristische Größe erhält einen Namen, und die logische Verknüpfung der binär bewerteten Größen (ja/nein) ergibt eine sogenannte Pfadfunktion f. Die Namen sind wieder streng an den Prozeß gebunden zu wählen. Es ist also nicht sinnvoll, „Endlage 4" als Name festzulegen, es sollte vielmehr „Waggon auf Waage" oder „350 l Wasser" heißen. Die Ja-nein-Bewertung sagt dann, ob die genannte Größe ihren Schwellwert oder Grenzwert erreicht hat oder nicht.

Die durch die Aufgliederung in Teilprozesse entstehenden Kopplungen sind Teile (Variable) der Operation eines TP, und sie beeinflussen andere TP steuerungstechnisch direkt. Die so beeinflußten TP erhalten das als Operationsvariable abgehende Signal in Form eines Anteils zu einem Prozeßzustand, also als Prozeßzustandsvariable. Damit spielt die einzelne Koppelvariable die Rolle einer charakteristischen Größe für den nachgeordneten TP. Die Ursache ist also eine auszuführende Operation, deren Wirkung der Einfluß auf einen Teilprozeß ist. Zum Beispiel ist eine Hand-Automatik-Umschaltung ein Organisationsteilprozeß, der eine Operation „Automatik START" beinhaltet. Dieses „Signal" geht an alle TP, die dadurch in Gang gesetzt werden, daß die Bewertung „ja" heißt, die aber auch

---
[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

bei „nein“ an den vorgesehenen Stellen anhalten. Alle derartigen Koppelvariablen sind in einer Liste zu erfassen.

2. Technologisches Schema und MSR-Stellenliste „Steuerung“

Zu jedem TP sollte eine Zeichnung existieren, die symbolisch die Maschinen, Aggregate und Apparate oder andere den Prozeß kennzeichnende Einrichtungen enthält. In dieses Schema werden symbolisch die Eingriffsorte der Operationen und ebenso die Entnahmeorte der charakteristischen Größen eingetragen. Für die verfahrenstechnischen Anlagen ist die TGL 14091 anzuwenden. Das dort fehlende Symbol für die Stellorte, die durch die Steuerung bedient werden sollen, soll ein B sein (binär). Dieser Buchstabe ist ebenfalls für Meßstellen zu verwenden. So bedeutet zum Beispiel „PB“ eine Druckmeßstelle mit Binärbewertung (Schwellwerte, Grenzwerte) für eine Steuerung.

Die zu erfassenden Größen sind im zugehörigen Prozeßablaufplan festgelegt. Wie sie gemessen werden und wie der Eingriff in den Prozeß stattfindet, wird in die entsprechenden, bekannten MSR-Stellenlisten eingetragen. Es muß aber dazu eine Liste „Steuerung“ entstehen, in der alle diese Größen mit ihrem Namen und der MSR-Stellennummer erfaßt werden. Weiterhin muß die Liste die Grenzwerte und ihre Toleranzen enthalten. Es muß deutlich ablesbar sein, daß z. B. ein Füllstand über den Umweg eines Bodendruckes erfaßt wird. Ebenso müssen die Stellsignale alle aufgelistet werden (mit Hinweis zur Stelltechnik). Diese Dinge sind sehr wichtig, da durchaus die Prozeßmeß- und -stelltechnik die Prozeßführung beeinflussen kann, also Änderungen der Struktur des Prozeßablaufplanes dadurch möglich sind.

3. Aufbau des Steuerungsablaufplanes

Der Input eines Teilprozesses ist unter Zwischenschaltung der erforderlichen Stelltechnik der Output des Steuerautomaten. Der Input des Steuerautomaten entsteht aufgrund der Umsetzung der Prozeßzustände bzw. der charakteristischen Prozeßzustandsvariablen über die Prozeßmeßtechnik. State des Steuerautomaten sind seine inneren Automatenzustände, die zunächst nicht interessieren, da der Steuerungsablaufplan in seinem Aufbau das Eingangs-Ausgangs-Verhalten als abstrakter Automat beschreiben soll. Der strukturelle Aufbau wird vom Prozeßablaufplan übernommen, der Inhalt der Symbole ändert sich. In der MSR-Stellenliste sind die Prozeßzustandsvariablen durch Eingangsvariable der Steuerung auszudrücken. Es kann z. B. sein, daß „350 l Wasser“ — ja durch eine Eingangsvariable $x17 = 0$ und — nein durch eine Eingangsvariable $x17 = 1$ erscheinen. Ebenso müssen die Ausgangsvariablen festgelegt werden. So könnte „Kohle nach Tagesbunker 3“ mit $y9 = 1$ angesteuert werden, weil dann der Motor 4 einzuschalten ist. Die Signalpegelwandlung ist Sache der Stelltechnik-Projektierung oder auch Sache der Elektroenergieanlagen-Projektierung. Nicht nur die MSR-Stellenliste „Steuerung“ muß auf diese Weise erweitert werden, auch die Liste „Kopplungen“ muß noch x- und y-Spalten erhalten. Hand-Bedienung über Steuertaster hat dort keinen Operationsnamen, nur einen Prozeßvariablen-Namen, z. B. „Automatik START“ oder „Automatik AUS“.

In den Steuerungsablaufplan werden nur die x und y eingetragen, die der Prozeßablaufplan vorschreibt, es sind jedoch einige Besonderheiten zu beachten. Generell sollte jedes Eingangssymbol nur eine Eingangsvariable haben, d. h., es muß eventuell eine Aufspaltung in Prozeßzustandsvariable und damit in Eingangsvariable durchgeführt werden, wenn im Prozeßablaufplan nur „Transport beendet“ steht, aber vier Einzelwerte dazu benötigt werden, um ja oder nein entscheiden zu können. Die Eintragungen der Stellsignale y in die Befehlssymbole erfolgt so, daß immer nur diejenigen erscheinen, deren logischer Wert 1 ist. Damit ist es möglich, daß manche Befehlssymbole leer sind, weil an dieser Stelle alle y den Wert logisch 0 haben.

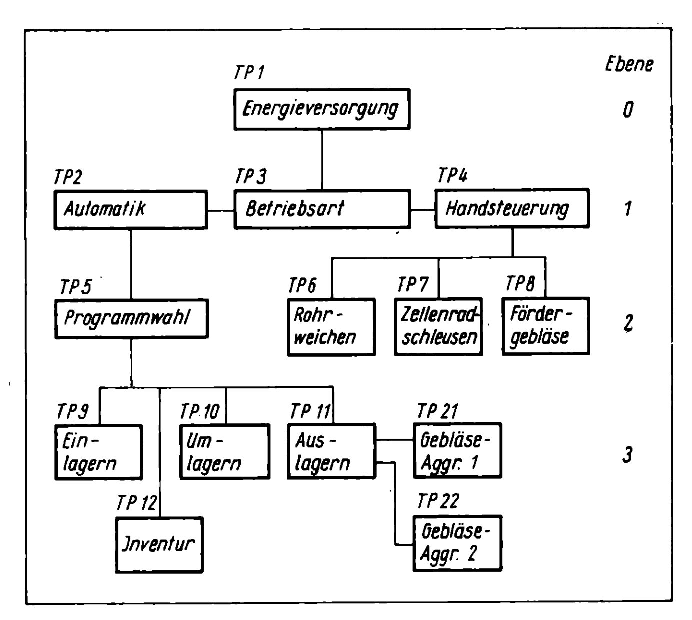


Bild 1. Ausschnitt aus der Hierarchie des Lagerprozesses

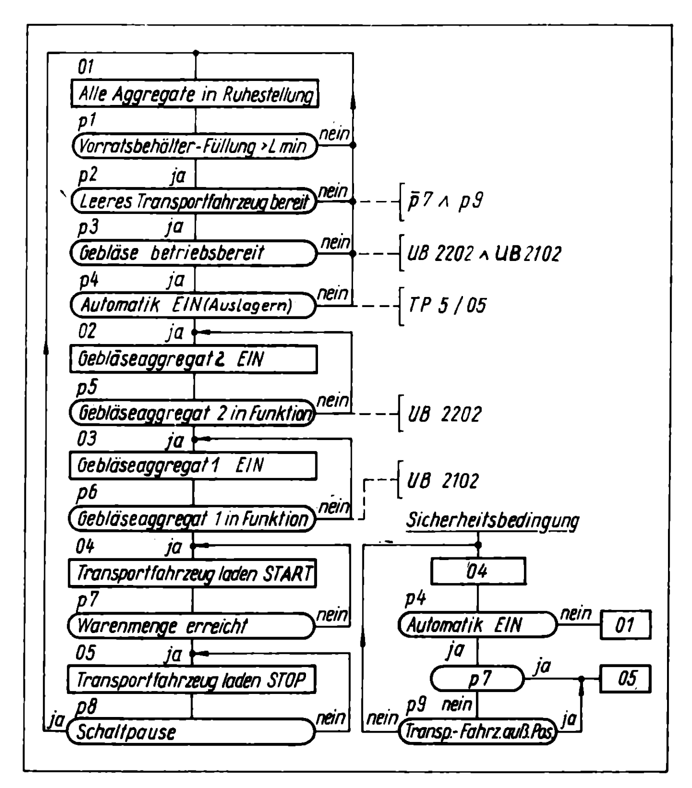
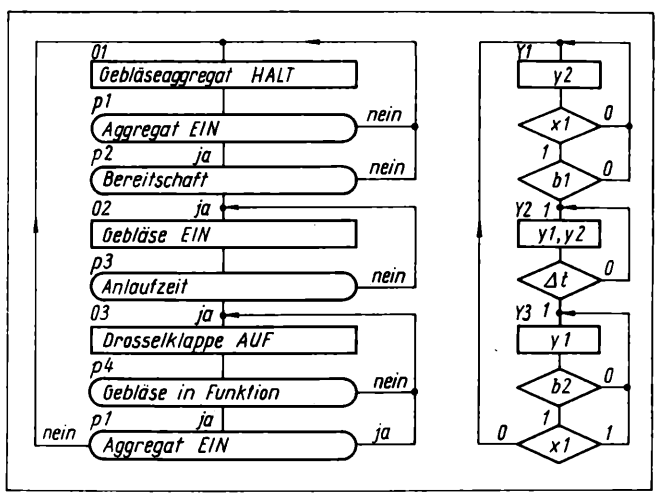


Bild 2. Prozeßablaufplan zum Teilprozeß 11 „Auslagern“

4. Demonstration an einem kleinen Beispiel (stark verkürzt)

Ein Lager für Schüttgut soll automatisiert werden. Die Aufgliederung soll im Ergebnis Bild 1 darstellen. Die TP sind mit Namen und TP-Nummern versehen, und es ist zu erkennen, welche Teilprozesse miteinander im Wechselspiel stehen. Es ist aber nicht zu erkennen, welche Kopplungen erfolgen und daß



z. B. nur zwei der drei Lagerteilprozesse vom Anlagenaufbau her zugelassen sind.

„Inventur" bedeutet Bestände messen und registrieren. Das ist aber nur zulässig, wenn keiner der anderen Lagerprozesse abläuft. Solche Details müssen aus dem Prozeßablaufplan TP 12 erkannt werden können (nicht dargestellt).

Der Prozeßablaufplan (Abkürzung PRAP) für den Auslagerungsvorgang ist im Bild 2 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, daß die pneumatischen Fördereinrichtungen (Bild 3) zunächst herausgelassen wurden, da sie beide den gleichen Verlauf haben. Der PRAP enthält keine sogenannten Sicherheitsbedingungen. Diese sind extra dargestellt, um getrennt an bei-

Bild 3. Prozeßablaufplan und Steuerungsablaufplan der Gebläseaggregate (TP 21 und 22)

							MSR - Stellenliste Kopplungen	7
Name der Operation bzw. Variablen	PRAP-Nr. der Operation	PRAP-Nr. d. Proz.-Zust.-Variablen	STAP-Nr. der Ausg.-Var. $y_j = \{1,0\}$	STAP-Nr. der Eing.-Var. $x_i = \{1,0\}$	Eingabe durch den Menschen	Information an den Menschen	Beziehung zu anderen Unterlagen der Steuerung	Hinweise Bemerkungen
701	702	703	704	705	706	707	708	709
Gebläseaggregat 1								
EIN	03, 04, 05	TP 21/p1	y G1 = 1	21/x1 = 1		+		y G1 = 1: Signallampe gelb
AUS	01, 02							
Gebläseaggregat 2								
EIN	02, 03, 04, 05	TP 22/p1	y G2 = 1	22/x1 = 1		+		y G2 = 1: Signallampe gelb
AUS	01							

Prozeßname:	Schüttgutlagerprozeß	Liste besteht aus: ..1.. Blatt
Teilprozesse - Namen und Nummer	Auslagern, TP 11	Blatt-Nr. ..1..

Bild 4. Kopplungsliste

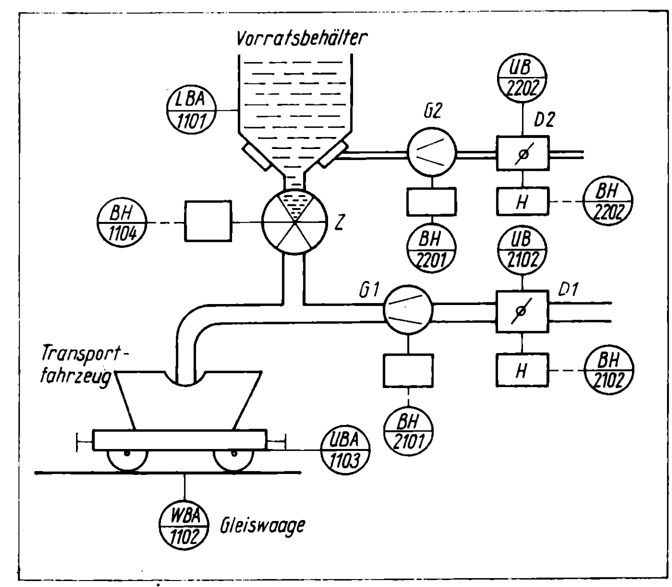


Bild 5. Technologisches Schema zum Teilprozeß 11 „Auslagern"

den Korrekturen vornehmen zu können. Im Bild 4 ist ein Beispiel der Kopplungen gezeigt. Bild 5 stellt das technologische Schema zum TP 11 „Auslagern" dar, in das die MSR-Stellen eingetragen sind. Die zugehörige Liste ist im Bild 6 aufgestellt. Bild 7 zeigt den Steuerungsablaufplan (Abkürzung STAP), in den die Sicherheitsbedingungen integriert sind.

Für die Realisierung dieses Automaten z. B. in Relaistechnik (Bild 8) gelten einfache Regeln. Die erwähnten Automatenzustände Z treten immer dort auf, wo mindestens eine innere Y-Schleife liegt. Gibt es nur eine solche Schleife, d. h. nur ein Y_j, dann kann $Y_j = Z_j$ sein, sind es mehrere Y_j-Schleifen, dann muß $Y1 = Z \cdot X1$, $Y2 = Z \cdot X2$ usw. gesetzt werden. Die Kodierung der so gekennzeichneten Zustände erfolgt nach den üblichen Gesetzmäßigkeiten und soll hier nicht er-

	MSR - Stellenliste Steuerungen	6

MSR-Stelle nach TGL 14091 und Name (P bzw. O)	Eingang					Ausgang			Beziehung zu anderen Unterlagen der Steuerungen	Hinweise Bemerkungen
	Grenzwert Einheit	Toleranz des Grenzwertes	Kurzzeichen x	Grenzwertüberschreitung bei logisch 1	0	Kurzzeichen y	Stellwirkung bei logisch 1	0		
601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611
Auslagern, TP 11										
LBA 1101 p1	2 m	± 0,1 m	e1	> 2 m	–	–	–	–	TP10/p...	(TP 10 nicht dargestellt)
Vorratsbehälter-	•									e1 = 0 : 2s ak. Alarm und
Füllung > L min										Signallampe gelb
WBA 1102 p7	5.000 bis	± 2 %	e2	–	Grenz-	–	–	–		von Hand einstellbarer Grenzwert
Warenmenge erreicht	20.000 kg	vom Grenz-			wert					e2 = 0: Signallampe orange
		wert			≤ ± 2%					
UBA 1103 p9	10m	± 50mm	b5	9,9 bis	–	–	–	–		
Fahrzeug positioniert		bis ± 100mm		10,1 m						b5 = 1 : Signallampe grün
										Nockenantrieb
BH 1104										
Transportfahrzeug										
laden 04	–	–	–	–	–	y1	START			
01,02,03,05								STOP		
TIME 1105 p8										Auslauf Zellenrad und
Schaltpause	15s	± 1s	Δt	≧ 15s	–	–	–	–		Leerblasen
Gebläseaggregat 1,	TP 21									
BH 2101										Y - Δ - Schaltung für
Gebläse 02,03	–	–	–	–	–	y1	EIN			E - Motor, 10 kW
01								AUS		
BH 2102										Eigener Antrieb
Drosselklappe 03	–	–	–	–	–	y2		AUF		Drosselklappe
01,02							ZU			
UB 2102	Öffnung									
Bereitschaft p2	5 %	0 ... 10 %	b1	≦ 10 %	–	–	–	–	TP 11/p3,p6	
Gebläse in Funktion p4	90 %	80 ... 100 %	b2	≧ 80 %	–	–	–	–		
TIME 2103										
Anlaufzeit p3	5s	± 0,5s	Δt	≧ 5s	–	–	–	–		
Gebläseaggregat 2,	TP 22									
BH 2201										Y - Δ - Schaltung für
Gebläse 02,03	–	–	–	–	–	y1	EIN			E-Motor, 10 kW
01								AUS		
BH 2202										Eigener Antrieb
Drosselklappe 03	–	–	–	–	–	y2		AUF		Drosselklappe
01,02							ZU			
UB 2202	Öffnung									
Bereitschaft p2	5 %	0 ... 10 %	b1	≦ 10%	–	–	–	–	TP 11/p3,p5	
Gebläse in Funktion p4	90 %	80 ... 100 %	b2	≧ 80%	–	–	–	–		
TIME 2203										
Anlaufzeit p3	5s	± 0,5s	Δt	≧ 5s	–	–	–	–		

Prozeßnahme:	Schüttgutlagerprozeß	Liste besteht aus: ...1... Blatt
Teilprozesse - Namen und Nummer:	Auslagern, TP 11 Gebläseaggregat 1 und 2, TP 21 und 22	Blatt-Nr. ..1..

Bild 6. Steuerungsliste

arbeitet werden. Der hier gezeigte STAP (Bild 7) ist einer 1-aus-n-Kodierung unterzogen worden.

5. Anmerkung zur graphischen Gestaltung der Ablaufpläne

Der DDR-Standard TGL 22451 [4] erklärt sich ausdrücklich zuständig für die Herstellung von Datenfluß- und Programmablaufplänen und gilt ausdrücklich nicht für Abläufe, die außerhalb dieses Anwendungsbereiches liegen. Pläne nach Art und Sinn des Standards sind für EDV-Anlagen bestimmt und nicht für die binäre Prozeßanalyse, die für die Projektierung von Steuerungen erforderlich ist. Wenn dennoch teilweise die Symbolik verwendet wird, so nur deshalb, weil eine geeignetere für den vorliegenden Zweck bzw. Anwendungsbereich nicht bekannt ist. Jede Verbindlichkeit des Standards im Zusammenhang mit dem beschriebenen Projektierungsverfahren wird abgelehnt, weil theoretische und praktische Gründe eine Anwendung dieser TGL verbieten. Die im Aufsatz [1], Bild 1, benutzten Symbole müßten mithin sinngemäß gegen solche des Bildes 2 oder des Bildes 3 des vorliegenden Beitrages ausgetauscht werden, denn die Rhomben sind ausnahmslos für die Darstellung der Steuerungsablaufpläne vorgesehen.

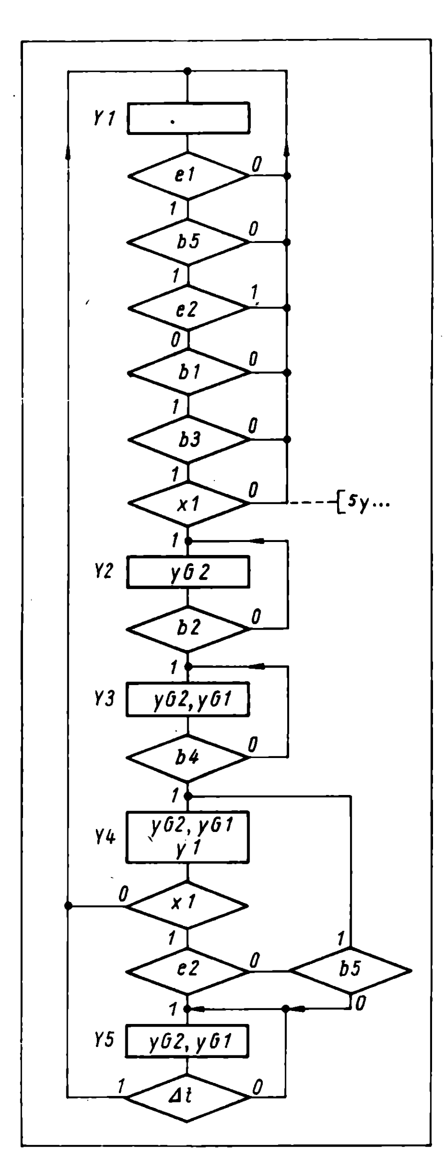
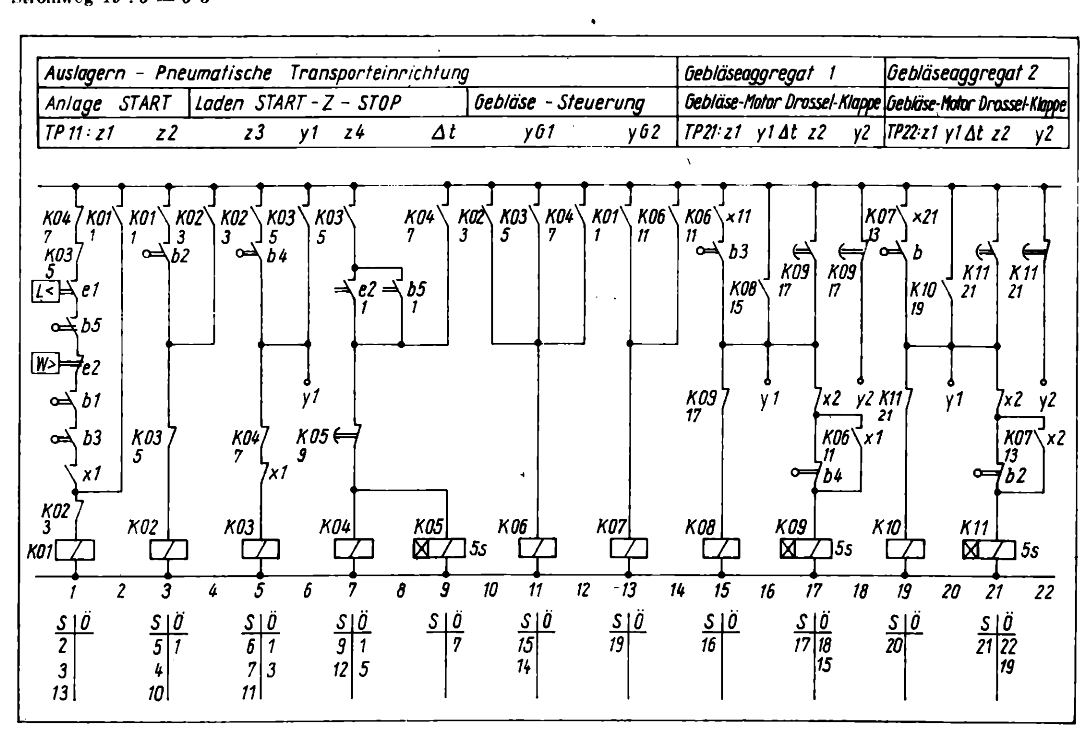


Bild 7. Steuerungsablaufplan zum Teilprozeß 11

Bild 8. Relais-Steuerschaltung zu den TP 11, 21 und 22 (ohne Signalisierung)
Stromweg 19 : $b = b\ 3$



Literatur

[1] *Alder, J.:* Über die Projektierung einer Steuerung. msr 22 (1979) H. 1, S. 2 und 3.

[2] *Killenberg, H.:* Eine Entwurfsmethode für Schaltsysteme auf der Grundlage von Programmablaufgraphen. Dissertation A, TH Ilmenau 1974.

[3] *Alder, J.:* Die binäre Prozeßanalyse als Grundlage zum Entwurf von Binärsteuerungen. Dissertation A, TH Leipzig, eingereicht 1979.

[4] TGL 22451: Informationsverarbeitung, Datenfluß- und Programmablaufpläne, Sinnbilder. Ausgabe Juni 1975.

msr 6943

Ing. *H. Schwansee*, Berlin und Dr.-Ing. *S. Geyler*, Zwickau[1])

Automatische Registrierung von Stückzahlen und effektiven Arbeitsdauern

IA 5.3.

0. Einleitung

Oft ist in Betrieben der Massenfertigung die Erfassung der Stückzahlen und der effektiven Arbeitsdauern noch zu stark von subjektiven Faktoren abhängig und sehr zeitaufwendig. Diese für die Betriebsabrechnung und für technologische Untersuchungen interessanten Größen können in vielen Fällen mit einem vertretbaren Aufwand anhand der Werkstückzuführung oder -abführung, z. B. mit Hilfe elektromechanischer, induktiver, optoelektrischer oder pneumatischer Indikatoren, aufgenommen werden.

Die Registrierung dieser Größen unter Einsatz eines speziellen Erfassungsgerätes läßt sich mit verhältnismäßig geringen Mitteln realisieren. Statistische Analysen dieser Daten für die Leitungstätigkeit wurden vorteilhaft im Off-line-Rechnerbetrieb durchgeführt.

Eine Erfassungsvariante mit Lochstreifenausgabe hat sich bewährt. Günstig daran ist die Möglichkeit der direkten Kontrolle ausgestanzter Zahlen anhand der Zählerstände. Es werden abfragbare elektromechanische Zählwerke (Typ ZLA, VEB Massi Werdau) verwendet.

Für den genannten Erfassungszweck sind Stanzgeschwindigkeiten von 24 Zeichen/s oder 48 Zeichen/s ausreichend. So ist bei einer Stanzdauer bis zu etwa 30 s, die während des Schichtwechsels abläuft und der Operationsdauer $t_0 < 30$ s der Fehler bei Stückzahlerfassung $< 1^0/_{00}$ des Schichtausstoßes. In der gleichen Größenordnung liegt der Fehler der Aufnahme effektiver Arbeitsdauern bez. der Schicht, sofern die Zeitaufteilung z. B. in Zeitintervalle $\Delta t = 30$ s erfolgt und $t_0 \leqq \Delta t$ gilt.

1. Arbeitsweise und Besonderheiten des Gerätes

Zur Indikation der genannten technologischen Daten wurde die Schaltung nach Bild 1 eingesetzt.

Der bistabile Multivibrator gewährleistet, daß ein Zeitimpuls nur dann gezählt wird, wenn in dem zugehörigen Zeitintervall die betreffende Maschine mindestens ein Werkstück bearbeitet. Mit dem monostabilen Multivibrator ist es möglich, die Bedienkräfte an die Einhaltung der technologisch vorgeschriebenen Bearbeitungszeit zu binden, indem die Haltezeit des Monoflops nur geringfügig kleiner als die Bearbeitungszeit eingestellt wird. Die von den genannten Multivibratoren gelieferten Zählimpulse stellen (in der realisierten Variante) die abfragbaren Zählwerke. Die hier eingesetzten elektromechanischen Zählbausteine besitzen für jede Dezimalstelle 12 Kontakte: 10 Ziffernkontakte für 0, 1, ... , 9, den 11. Kontakt für die Spannungszuführung und den 12. Kontakt als Abfragesicherung für den Fall, daß während der Abfragezeitspanne gerade noch ein Zählimpuls anliegt.

Der der angezeigten Ziffer zugeordnete Kontakt steht jeweils mit Kontakt 11 in elektrischer Verbindung, die anderen 9 Ziffernkontakte sind potentialfrei.

Damit sich während des Abfragevorganges der Zählerstand nicht ändert, müssen die im Abfragezeitraum eintreffenden Zählimpulse unterdrückt oder zwischengespeichert werden. Als Zwischenspeicher kommt hier ein Schieberegister in Betracht. In vielen Fällen — vor allem bei Abfrage in der Zeit des Schicht-

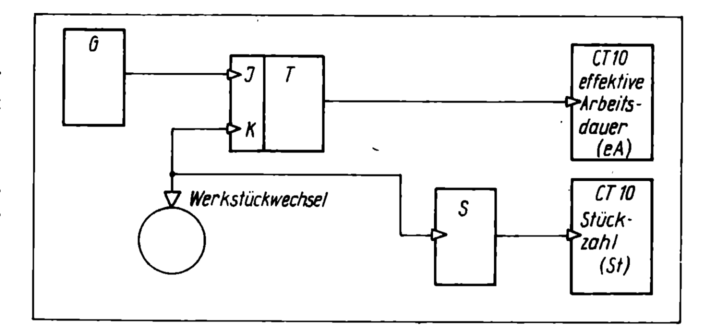


Bild 1. Zähleinheit

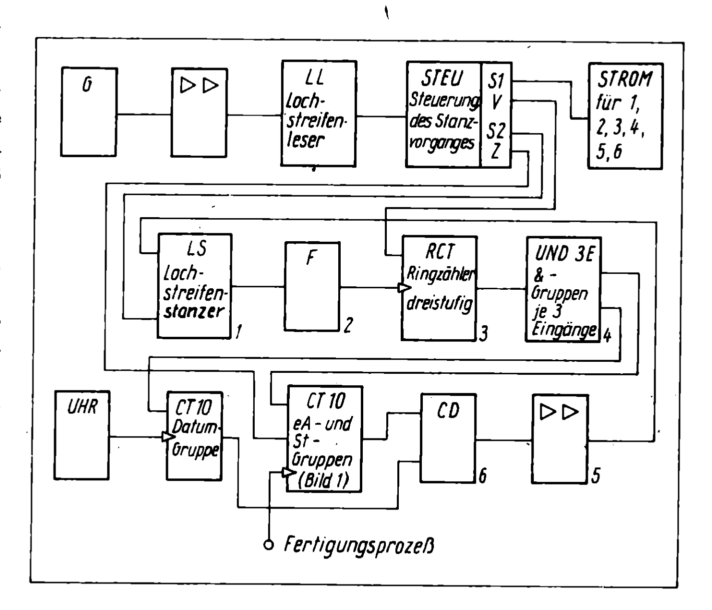


Bild 2. Registriereinrichtung mit Ablaufsteuerung

S1 Start Netzteil; V Voreinstellung; S2 Start Stanzer; Z Zählunterbrechung

wechsels — genügt die kurzzeitige Abschaltung der Zählimpulse (geringster Aufwand).

Bild 2 zeigt die Registriereinrichtung mit Ablaufsteuerung. Der Baustein Ablaufsteuerung kann als Zeitmarkengeber einen Synchrongetriebemotor mit Mikroendschalter benutzen. Das Programm der Abfrage wird in einen Lochstreifen gestanzt, der von einem Lochstreifenleser mit der Schrittgeschwindigkeit V_s gelesen wird (brauchbar z. B. $V_s = 0{,}5$ Schritte/min). Durch eine vereinbarte Lochung für den Erfassungsvorgang löst die Ablaufsteuerung nacheinander folgende Aktionen aus:

- Einschalten des Netzteils für die Versorgung der Bausteine 1, 2, ... , 6;
- Einschalten des Stanzermotors;
- Voreinstellung des mehrstufigen Ringzählers (vorliegend dreistufig mit 12 Flip-Flop-Schaltungen je Stufe und somit $12^3 = 1728$ Variationen; als Ausgangszustand wurde die Variation 1″ 1′ 1 gewählt);
- Abschalten der Zählwerke;
- Start der Abfrage aller interessierenden Zeichen (einschl. Wortmarke zwischen den Zahlen, Satzmarke nach allen den verschiedenen Maschinen oder Bearbeitungsstufen zugeordneten Zahlengruppen und nach dem Datum), nach Stanzen des letzten Zeichens Abschalten des Stanzers;

[1]) Mitteilung aus dem VEB Wälzlagerwerk „Josef Orlopp" Berlin und der Abteilung ORZ der IH Zwickau.

— Zuschalten der Zählwerke;
— Abschalten des Netzteiles für die Baugruppen 1, 2, ..., 6.

Es erwies sich als vorteilhaft, die Zustände aller bistabilen Multivibratoren des mehrstufigen Ringzählers mit einem Lampenfeld anzuzeigen. Dadurch ist die optische Kontrolle der Voreinstellung möglich, und die Funktion des Ringzählers läßt sich sehr gut mit Hilfe des Lampenfeldes überprüfen. Für diese Überprüfung steht ein astabiler Multivibrator (Taktzeit etwa 1 s) zur Verfügung. Die Anzeigelampen und die dem mehrstufigen Ringzähler nachgeschalteten passiven Konjunktionen belasten so stark, daß an jede Flip-Flop-Schaltung eine Impedanzwandlerstufe angefügt werden muß. Falls keine extrem hohen Genauigkeitsansprüche an die Ablaufsteuerung bestehen, genügt es, den als Zeitmarkengeber eingesetzten Synchrongetriebemotor mit Netzspannung zu betreiben und regelmäßig durch Lagekorrektur des Steuerstreifens den Erfassungsablauf z. B. mit dem Schichtbeginn zu synchronisieren. Das Datum (Schicht, Tag, Monat, Jahr) — es kann z. B. an Schaltern einstellbar sein — bildet die erste Information auf dem Datenträger.
Erfahrungen bei der täglichen Anwendung des Gerätes vermitteln den Eindruck, daß durch den Einsatz elektronischer Zählbausteine zum Zweck der Abfrage und durch parallelen Betrieb elektromechanischer Zählwerke zur optischen Kontrolle (z. B. Typ ZL, VEB Massi Werdau) die Zuverlässigkeit der Erfassungseinrichtung beträchtlich erhöht werden kann.

2. Auswertung der Datenträger

Die auf Lochstreifen registrierten Betriebsdaten (Stückzahl, Ausschußstückzahl, Nacharbeitsstückzahl, effektive Arbeitszeit) werden mit Hilfe einer EDV-Anlage u. a. hinsichtlich

— Kontrolle der Maschinenauslastungen,
— Kontrolle der Einhaltung technologisch vorgeschriebener Bearbeitungszeiten,
— Kontrolle des Produktionsplan-Erfüllungsstandes,
— Kontrolle der Ausschuß- und Nacharbeitsentwicklung

ausgewertet.

Zweifellos sind Analysen dieser Betriebsdaten, wenn genügend kleine Erfassungszeitintervalle gewählt werden, geeignet, Intensivierungsreserven sichtbar zu machen.

msr 6858

Doz. Dr. sc. techn. Dr. rer. nat. *F. Beichelt*, Röblingen am See[1])

Optimale Kontrolle reparierbarer Systeme bei Beschränkung der mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit

IA 4.1.4.; 4.1.5.

1. Formulierung des Basismodells

Im Rahmen eines bekannten Modells der Zuverlässigkeitstheorie wurde in [4] erstmals das Problem betrachtet, maximale Verfügbarkeit eines Systems durch geeignete zeitliche Planung von Inspektionen bei vorgegebener Schranke für die mittleren Inspektionskosten je Erneuerungszyklus zu erzielen. Damit ist es gelungen, innerhalb der Zuverlässigkeitstheorie eines der wenigen Beispiele zu schaffen, für die ein expliziter analytischer Zusammenhang zwischen erreichbarer Verfügbarkeit und zulässigem Instandhaltungsaufwand angegeben werden kann. Im vorliegenden Beitrag werden die dort begonnenen Untersuchungen weitergeführt und abgerundet.
Genauer wird die folgende Situation betrachtet: Die Lebensdauer X eines Systems ist eine zufällige Größe mit der Verteilungsfunktion $F(t) = P(X < t)$, $F(+0) = 0$. Ausfälle des Systems können nur durch Inspektionen entdeckt werden. Jede Inspektion koste c_1, $0 < c_1 < \infty$, Kosteneinheiten, erfordere aber nur eine vernachlässigbar kleine Zeitspanne. Andererseits seien c_2, $0 \leqq c_2 < \infty$, die (Verlust-)Kosten je Zeiteinheit, in der sich das System im Ausfallzustand befindet. Unmittelbar nach Entdeckung eines Ausfalls wird das System vollständig erneuert. Eine Erneuerung erfordere die Kosten c_3 und die Zeit d; $c_1 \leqq c_3$, $0 \leqq d < \infty$. Die Zeitspanne zwischen zwei benachbarten Erneuerungen wird „Zyklus" genannt.
Es sei $S = \{t_k\}$ eine Inspektionsstrategie, d. h. eine unbeschränkt wachsende Folge von Zahlen t_k mit $0 = t_0 < t_1 < t_2 \cdots$ (zur Zeit t_k findet die k-te Inspektion statt, wenn vorher ein Ausfall entdeckt worden ist). S sei die Menge aller Inspektionsstrategien. In Abhängigkeit von S ist die mittlere Länge $L(S)$ eines Zyklus gegeben durch

$$L(S) = \mu + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t)\, dF(t) + d = \sum_{k=0}^{\infty} t_{k+1}[F(t_{k+1}) - F(t_k)] + d\,, \quad (1)$$

wobei $\mu = E(X)$ die mittlere Lebensdauer des Systems ist. Dementsprechend beträgt seine (Dauer-)Verfügbarkeit $A(S)$

$$A(S) = \frac{\mu}{\sum_{k=0}^{\infty} t_{k+1}[F(t_{k+1}) - F(t_k)] + d}\,. \quad (2)$$

Eine Verfügbarkeit des Systems, die beliebig nahe bei ihrem maximal möglichen Wert $\mu/(\mu + d)$ liegt, kann erreicht werden, wenn $S = \{t_k\}$ so gewählt wird, daß $\sup_k \delta_k$ mit $\delta_k = t_{k+1} - t_k$ hinreichend klein ausfällt. Aber in diesem Fall würden die mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit $K(S)$ unbeschränkt wachsen. Diese Kosten sind gegeben durch

$$K(S) = \frac{C(S)}{L(S)}\,, \quad (3)$$

wobei

$$C(S) = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} [(k+1)\, c_1 + c_2(t_{k+1} - t)]\, dF(t) + c_2 d + c_3 \quad (4)$$

die mittleren Betriebskosten je Zyklus sind. Daher wird in diesem Beitrag das Problem der Erreichung maximaler Verfügbarkeit bei vorgegebener Schranke für die mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit (für die Fälle $c_2 > 0$ und $c_2 = 0$) behandelt. Es

[1]) Mitteilung aus dem VEB Braunkohlenkombinat „Gustav Sobottka", Röblingen am See.

wird vollständige und teilweise Information über die Lebensdauerverteilung des Systems vorausgesetzt.
Das Problem der Erreichung maximaler Verfügbarkeit bezüglich der Betriebskosten je Zyklus wurde in [4] gelöst. Im vorliegenden Beitrag erfolgt erstmals der Bezug der Kosten auf die Zeiteinheit. Damit wird einem aus praktischer Sicht relevantem ökonomischem Kriterium Rechnung getragen. Eigenschaften der Systemverfügbarkeit ohne Kostenbeschränkungen hat *Platz* [7] untersucht.

In den Abschnitten 1. bis 3. wird stets

$$\frac{c_1 + c_3}{\mu} < c_2 \tag{5}$$

vorausgesetzt. Sonst wären die mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit bei „idealer Inspektion und Erneuerung" (Ausfälle werden sofort entdeckt und das System wird in vernachlässigbar kleiner Zeit erneuert) größer oder gleich den Stillstandskosten c_2 je Zeiteinheit. Aber in diesem Fall sind Inspektion und Erneuerung von vornherein unökonomisch.
Das folgende Lemma (Lagrangesche Multiplikatorenmethode) wird im Abschn. 2. benötigt. Sein einfacher Beweis findet sich in [4].
Lemma 1: Es seien $M(S)$ und $N(S)$ reelle Funktionen von S, $S \in \mathbf{S}$, und $D(S, \lambda) = M(S) + \lambda N(S)$. Für jedes $\lambda \geqq 0$ existiere eine Strategie $S(\lambda)$ mit der Eigenschaft $D[S(\lambda), \lambda] = \min_{S \in \mathbf{S}} D(S, \lambda)$.
Wenn ein $\lambda_0 \in \Lambda = \{\lambda; S(\lambda) \in \mathbf{S}_0\}$, $\mathbf{S}_0 = \{S; N(S) = 0\}$ existiert, so daß $D(S(\lambda_0), \lambda_0) = \min_{\lambda \in \Lambda} D(S(\lambda), \lambda)$ ausfällt, dann gilt

$$M(S(\lambda_0)) = \min_{S \in \mathbf{S}_0} M(S) . \tag{6}$$

2. Exponentiell verteilte Lebensdauer

In diesem Abschnitt wird $F(t) = 1 - \mathrm{e}^{-t/\mu}$, $t \geqq 0$, vorausgesetzt. Daher ist die bezüglich $K(S)$ optimale Strategie S^* streng periodisch [3] (eine Strategie $S = \{t_k\}$ heißt streng periodisch mit dem Inspektionsintervall δ, wenn $\delta = t_{k+1} - t_k$ für alle $k = 0, 1, \ldots$ gilt. Bezeichnung: $S = S^{(\delta)}$. Insbesondere gilt in diesem Fall

$$K(S^{(\delta)}) = \frac{c_1 + c_2\delta - (c_2\mu - c_3)(1 - \mathrm{e}^{-\delta/\mu})}{\delta + d(1 - \mathrm{e}^{-\delta/\mu})}. \tag{7}$$

Das Inspektionsintervall δ^* von S^* befriedigt die Gleichung

$$1 - \mathrm{e}^{-\delta/\mu}\left\{\frac{\delta}{\mu} + 1 - \frac{c_1 d}{[c_3 - (\mu + d) c_2]\mu} = \frac{c_1}{(\mu + d) c_2 - c_3}\right\}. \tag{8}$$

Aufgrund der Bedingung (5) existiert stets eine positive Lösung.
Es sei K_0 eine fixierte obere Schranke für $K(S)$,

$$K(S^*) < K_0 < c_2 . \tag{9}$$

Das Ziel besteht zunächst darin, eine Strategie $S = S_0$ zu finden, so daß gilt

$$A(S_0) = \max_{S \in \mathbf{S}_0} A(S) \tag{10}$$

mit $\mathbf{S}_0 = \{S; K(S) = K_0\}$. Eine äquivalente Schreibweise für das Problem (10) ist

$$\left.\begin{array}{l} L(S) \to \min . \\ C(S) - K_0 L(S) = 0 . \end{array}\right\} \tag{11}$$

Gemäß Lemma 1 sei $D(S, \lambda) = L(S) + \lambda[C(S) - K_0 L(S)]$.

Da die funktionelle Struktur von $D(S, \lambda)$ die gleiche ist wie die von $C(S)$, ist bekannt (das Problem der Minimierung von $C(S)$ wurde in [3] gelöst), daß für jedes $\lambda \geqq 0$ die Strategie $S(\lambda)$ existiert und streng periodisch ist. Daher ist auch die Strategie $S_0 = S(\lambda_0)$ streng periodisch. Das Inspektionsintervall δ_0^* von S_0 muß die Bedingung

$$C(S^{(\delta)}) - K_0 L(S^{(\delta)}) = 0 \quad \text{oder}$$

$$\mathrm{e}^{-\delta/\mu} + \frac{c_2 - K_0}{\mu c_2 - (c_2 - K_0) d - c_3} = 1 + \frac{c_1}{\mu c_2 - (c_2 - K_0) d - c_3} \tag{12}$$

befriedigen. Aufgrund der Bedingung (9) existieren genau zwei positive Lösungen dieser Gleichung. Da

$$L(S^{(\delta)}) = \frac{\delta}{1 - \mathrm{e}^{-\delta/\mu}} + d \tag{13}$$

monoton wächst in δ, ist δ_0^* die kleinere der beiden Lösungen.

3. Bekannter Erwartungswert der Lebensdauer

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Lebensdauer X des Systems sei bis auf ihren Erwartungswert $\mu = E(X)$ unbekannt. Das heißt, von der Verteilungsfunktion von X ist nur bekannt, daß sie zur Menge $\mathbf{F}_\mu$ gehört, die in folgender Weise definiert ist:

$$\mathbf{F}_\mu = \left\{F;\, F(+0) = 0, \mu = \int_0^\infty t\, \mathrm{d}F(t), 0 < \mu < \infty\right\}.$$

Das Ziel besteht darin, diese partielle Information über die Lebensdauerverteilung optimal bezüglich der Planung von Inspektionen zu nutzen.
Anstelle von $A(S)$, $C(S)$, $L(S)$ und $K(S)$ wird zur Formulierung des Problems genauer $A(S, F)$, $C(S, F)$ und $K(S, F)$ geschrieben. Es seien

$$A_\mu(S) = \inf_{F \in \mathbf{F}_\mu} A(S, F) , \qquad C_\mu(S) = \sup_{F \in \mathbf{F}_\mu} C(S, F) ,$$

$$L_\mu(S) = \sup_{F \in \mathbf{F}_\mu} L(S, F) \quad \text{und} \quad K_\mu(S) = \sup_{F \in \mathbf{F}_\mu} K(S, F) .$$

Das Problem besteht darin, eine solche Strategie

$$S_\mu \in \mathbf{S}_\mu = \{S; K_\mu(S) = K_0\}$$

zu finden, die

$$A_\mu(S_\mu) = \max_{S \in \mathbf{S}_\mu} A_\mu(S) \tag{14}$$

erfüllt. Analog zu Problem (11) wird diese Aufgabe in der Form

$$\left.\begin{array}{l} L_\mu(S) \to \min . \\ K_\mu(S) - K_0 = 0 \end{array}\right\} \tag{15}$$

geschrieben. Dabei muß K_0 der Bedingung

$$K_\mu(S^*_\mu) < K_0 < c_2 \tag{16}$$

genügen. Hierbei ist S_μ^* die bezüglich $K_\mu(S)$ optimale Strategie. Gemäß [3] ist S_μ^* streng periodisch mit dem Inspektionsintervall

$$\delta_\mu^* = \sqrt{c_1 \cdot \mu/[c_2 - K_\mu(S_\mu^*)]} ,$$

wobei gilt

$$K_\mu(S_\mu^*) = \frac{1}{\mu + d}\left[c_1 + c_2 d + c_3 - \frac{2\mu c_1}{\mu + d} + 2\sqrt{\frac{\mu c_1}{\mu + d}\left(c_2\mu - c_1 - c_3 + \frac{\mu c_1}{\mu + d}\right)}\right]. \tag{17}$$

In [3] wurde der anschaulich klare Sachverhalt nachgewiesen, daß für alternde Systeme die bezüglich $K(S, F)$ optimale Strategie nichtsteigende Inspektionsintervalle aufweist. Daher ist es für die Praxis kaum eine Einschränkung, wenn das Problem (14) unter der Voraussetzung nichtsteigender Inspektions-

intervalle gelöst wird. Das heißt, es wird zusätzlich verlangt, daß die Elemente $S = \{t_k\}$, $\delta_k = t_{k+1} - t_k$, von $\mathbf{S}_\mu$ die Eigenschaft

$$\delta_{k+1} \leqq \delta_k, \qquad k = 0, 1, \ldots, \tag{18}$$

haben.

Die Bedingung $K_\mu(S) - K_0 = 0$ ist offenbar äquivalent zu

$$N_\mu(S) = \sup_{F \in \mathbf{F}_\mu} N(S, F) = 0 \tag{19}$$

mit $N(S, F) = C(S, F) - K_0 L(S, F)$. Aufgrund der Voraussetzung (16) sind die funktionellen Strukturen von $N(S, F)$ und $C(S, F)$ einander gleich. Daher erhält man unmittelbar durch Anwendung in [3] erzielter Ergebnisse

$$N_\mu(S) = \sup_{\substack{(i,j)\\ 0 \leqq i \leqq m < j}} \left\{ \frac{t_j - \mu}{t_j - t_i} [(i + 1) c_1 + (c_2 - K_0) \delta_i] + \right.$$
$$\left. + \frac{\mu - t_i}{t_j - t_i} [(j + 1) c_1 + (c_2 - K_0) \delta_j] \right\} +$$
$$+ c_2 d + c_3 - K_0(\mu + d), \tag{20}$$

wobei für eine beliebige Strategie $S = \{t_k\}$ die natürliche Zahl $m = m(S)$ definiert ist durch

$$t_m \leqq \mu < t_{m+1}. \tag{21}$$

Speziell erhält man aus Gl. (20)

$$L_\mu(S) = \sup_{\substack{(i,j)\\ 0 \leqq i \leqq m < j}} \left\{ \frac{t_j - \mu}{t_j - t_i} \delta_i + \frac{\mu - t_i}{t_j - t_i} \delta_i \right\} + \mu + d. \tag{22}$$

Gleichung (20) liefert in Verbindung mit Gl. (19) für eine streng periodische Strategie $S = S^{(\delta)}$

$$K_\mu(S^{(\delta)}) = \frac{\mu c_1/\delta + (\delta + d) c_2 + c_1 + c_3}{\delta + \mu + d}, \tag{23}$$

während aus Gl. (22) folgt

$$L_\mu(S^{(\delta)}) = \delta + \mu + d. \tag{24}$$

Das Inspektionsintervall δ_μ der streng periodischen Lösung des Problems (14) befriedigt die quadratische Gleichung $K_\mu(S^{(\delta)}) = K_0$. Wegen Gl. (24) ist δ_μ die kleinste Lösung dieser Gleichung:

$$\delta_\mu = \frac{1}{2(c_2 - K_0)} \Big((\mu + d) K_0 - c_1 - c_2 d - c_3 -$$
$$- \sqrt{\big((\mu + d) K_0 - c_1 - c_2 d - c_3\big)^2 - 4\mu c_1 (c_2 - K_0)} \Big).$$

Theorem: Es gilt $S_\mu = S(\delta_\mu)$.

Beweis: Angenommen, es existiert eine Strategie $S = \{t_k\} \in \mathbf{S}_\mu$, die die Bedingungen (18) und

$$L(S) < L\big(S(\delta_\mu)\big) = \delta_\mu + \mu + d \tag{25}$$

erfüllt. Wegen Gl. (22) ist diese Ungleichung äquivalent zu

$$\sup_{\substack{(i,j)\\ 0 \leqq i \leqq m < j}} \left\{ \delta_i + \frac{\mu - t_i}{t_j - t_i} (\delta_i - \delta_i) \right\} < \delta_\mu.$$

In Verbindung mit der Voraussetzung (18) folgt hieraus $\delta_0 < \delta_\mu$. Wenn in Gl. (20) speziell $i = 0$ gesetzt wird, ergibt sich für alle $j > m$

$$c_1 + (c_2 - K_0) \delta_0 + \frac{\mu}{t_j} [j c_1 + (c_2 - K_0)(\delta_j - \delta_0)] +$$
$$+ c_2 d + c_3 - K_0(\mu + d) \leqq 0.$$

Aufgrund der Voraussetzung (18) muß aber $j/t_j \geqq 1/\delta_0$ für alle j sein, so daß folgt

$$c_1 + (c_2 - K_0) \delta_0 + \mu c_1/\delta_0 \leqq K_0(\mu + d) - c_2 d - c_3.$$

Unter Berücksichtigung von Gl. (23) erkennt man, daß diese Ungleichung äquivalent ist zu

$$K_\mu(S^{(\delta_0)}) \leqq K_\mu(S^{(\delta_\mu)}) = K_0.$$

Da jedoch $K_\mu(S^{(\delta)})$ in $(0, \delta_\mu^*)$ monoton abnimmt und $\delta_0 < \delta_\mu \leqq \delta_\mu^*$ ausfällt, kann diese Ungleichung nicht gelten. Somit existiert keine Strategie S mit nichtsteigenden Inspektionsintervallen, die der Bedingung (25) genügt. Damit ist das Theorem bewiesen.

Beispiel 1

Es seien $\mu = 200$, $c_1 = 10$, $c_2 = 5$, $c_3 = 100$ und $d = 0$. (Der Verzicht auf Maßeinheiten führt nicht zu Mißverständnissen.) In den Bildern 1 bzw. 2 sind δ_0^* und δ_μ bzw. $A(S_0)$ (im Falle exponentiell verteilter Lebenszeit) und $A_\mu(S_\mu)$ in Abhängigkeit von K_0 dargestellt. Es ist zu beachten, daß die Werte $\delta^* = 31{,}4$ und $\delta_\mu^* = 23{,}6$ sowie $K(S^*) = 1{,}154$ und $K_\mu(S_\mu^*) = 1{,}399$ gelten. Wenn die Lebensdauer exponentiell verteilt ist und dieser Sachverhalt unbekannt bleibt, dann liefert die Anwendung des Inspektionsintervalls δ_μ tatsächlich die Verfügbarkeit $A(S_\mu)$. Daher ist im Bild 2 diese Funktion auch dargestellt.

4. Mittlere Inspektions- und Erneuerungskosten je Zeiteinheit

In vielen Fällen (z. B. militärische Verteidigungsanlagen) sind die Stillstandskosten c_2 je Zeiteinheit vernachlässigbar klein, aber es ist eine hohe Verfügbarkeit des Systems zu garantieren, um seine Einsatzbereitschaft für die zu zufälligen Zeitpunkten eintretenden „Forderungen" zu gewährleisten [2]. In Anbetracht dieses realen praktischen Hintergrundes ist es sinnvoll, die Probleme (10) und (14) für den Fall $c_2 = 0$ zu lösen (die dort verwendeten Bezeichnungen werden beibehalten). Dabei sind die Bedingungen (9) und (16) zu ersetzen durch

$$0 < K_0 < c_3/d. \tag{26}$$

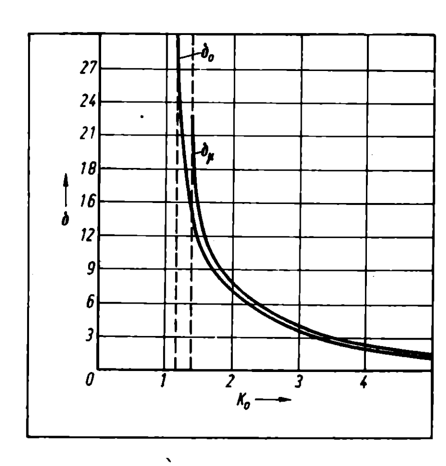


Bild 1. Abhängigkeit der optimalen Inspektionsintervalle δ_0^* und δ_μ von K_0 (Beispiel 1)

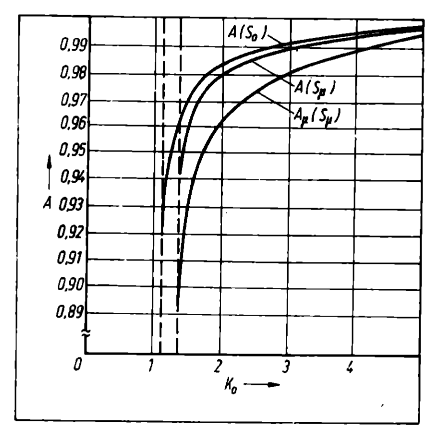


Bild 2. Vergleich von Verfügbarkeitskriterien (Beispiel 1)

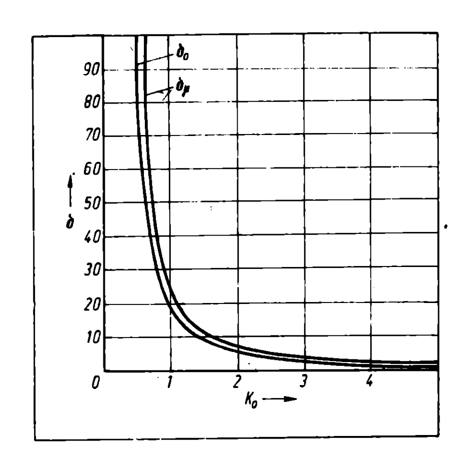


Bild 3. Abhängigkeit der optimalen Inspektionsintervalle δ_0^* und δ_μ von K_0 im Falle $c_2 = 0$ (Beispiel 2)

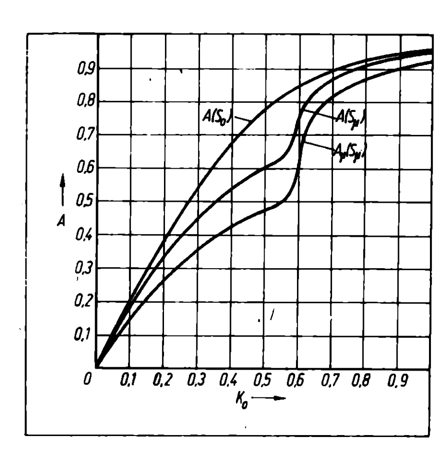


Bild 4. Vergleich von Verfügbarkeitskriterien im Falle $c_2 = 0$ (Beispiel 2)

Exponentiell verteilte Lebensdauer

Wie in Abschn. 2 weist man nach, daß S_0 streng periodisch ist. Jedoch ist jetzt λ ohne Beschränkung der Allgemeinheit einzuschränken durch die Bedingung

$$0 \leqq \lambda \leqq 1/K_0 . \tag{27}$$

Anderenfalls wäre $S(\lambda)$ die triviale Strategie „keine Inspektion und Erneuerung". Doch kann S_0 als Lösung des Problems (10) nicht von diesem Typ sein, da dann der einzig zulässige Wert von K_0 gleich Null wäre, im Widerspruch zur Voraussetzung (26). Überdies wäre die zugehörige (Dauer-)Verfügbarkeit des Systems ebenfalls identisch gleich Null. Das Inspektionsintervall der Strategie S_0 ist die eindeutige Lösung der Gleichung

$$e^{-\delta/\mu} + \frac{K_0}{c_3 - K_0 d}\,\delta = 1 + \frac{c_1}{c_3 - K_0 d} .$$

Es ist leicht zu sehen, daß der entsprechende λ_0-Wert $(S_0 = S(\lambda_0))$ die Bedingung (27) erfüllt.

Bekannter Erwartungswert der Lebensdauer

Abschließend wird noch das Problem (14) unter der Voraussetzung $c_2 = 0$ gelöst. Der Wert des zugehörigen Ausdrucks $N_\mu(S)$, der durch Gl. (19) definiert ist, kann jedoch nicht mehr unmittelbar aus früheren Ergebnissen abgeleitet werden; denn $N(S, F)$ und $C(S, F)$ haben jetzt verschiedene funktionelle Strukturen. Unter der zusätzlichen Voraussetzung, nur Strategien $S = \{t_k\}$, $\delta_k = t_{k+1} - t_k$, mit der Eigenschaft

$$\sup_{k=0,1\ldots} c_1/\delta_k < K_0 \tag{28}$$

zuzulassen, erhält man jedoch wie in [3] durch Routineabschätzungen

$$N_\mu(S) = \sup_{\substack{(i,j)\\ 0 \leqq i \leqq m < j}} \left\{(i+1)\,c_1 + \frac{\mu - t_{i+1}}{t_{j+1} - t_{i+1}}\,(j - i)\,c_1\right\} + c_3 - K_0\,(\mu + d)$$

für $t_1 < \mu$ und

$$N_\mu(S) = c_1 + c_3 - K_0(t_1 + d) \quad \text{für} \quad t_1 \geqq \mu .$$

Damit folgt gemäß Gl. (19) für $t_1 < \mu$

$$K_\mu(S) = \frac{\sup\limits_{\substack{(i,j)\\ 0 \leqq i \leqq m < j}} \left\{(i+1)\,c_1 + \frac{\mu - t_{i+1}}{t_{j+1} - t_{i+1}}\,(j - i)\,c_1\right\} + c_3}{\mu + d}$$

und für $t_1 \geqq \mu$

$$K_\mu(S) = (c_1 + c_3)/(t_1 + d) .$$

Speziell ergibt sich für eine streng periodische Strategie

$$S = S^{(\delta)}$$

$$K_\mu(S^{(\delta)}) = \begin{cases}(\mu c_1/\delta + c_3)/(\mu + d) & \text{für} \quad 0 < \delta < \mu \\ (c_1 + c_3)/(\delta + d) & \text{für} \quad \delta \geqq \mu .\end{cases}$$

Es existiert eine eindeutige streng periodische Strategie $S^{(\delta_\mu)}$, die der Bedingung $K_\mu(S^{(\delta_\mu)}) = K_0$ genügt. Ihr Inspektionsintervall δ_μ ist gegeben durch

$$\delta_\mu = \begin{cases}(c_1 + c_3 - K_0 d)/K_0 & \text{für} \quad 0 < K_0 < (c_1 + c_3)/(\mu + d) , \\ \mu c_1/((\mu + d)\,K_0 - c_3) & \text{für} \quad (c_1 + c_3)/(\mu + d) \leqq K_0 .\end{cases} \tag{29}$$

Entscheidend ist, daß das im Abschn. 3. bewiesene Theorem auch für den Fall $c_2 = 0$ gültig bleibt. (Der gegebene Beweis ist allerdings etwas zu modifizieren.) Die Lösung S_μ des Problems (14) ist also auch im Fall $c_2 = 0$ streng periodisch, wobei das Inspektionsintervall der Strategie $S_\mu = S(\delta_\mu)$ durch Gl. (29) gegeben ist.

Es ist zu beachten, daß wegen der Voraussetzung $c_2 = 0$ keine nichttrivialen Strategien S^* und S_μ^* existieren. In der Tat gelten $\delta^* = \delta_\mu^* = \infty$ und somit $K(S^*) = K_\mu(S_\mu^*) = 0$.

Beispiel 2

Wie im Beispiel 1 seien $\mu = 200$, $c_1 = 10$, $c_3 = 100$ und $d = 0$. Im Bild 3 sind die Inspektionsintervalle δ_0^* sowie δ_μ, im Bild 4 die Kriterien $A(S_0)$, $A_\mu(S_\mu)$ und $A(S_\mu)$ in Abhängigkeit von K_0 dargestellt. Wegen $d = 0$ kann entsprechend der Bedingung (26) K_0 prinzipiell jeden positiven Wert annehmen.

Literatur

[1] *Barsilovič, E. Ju.; Kastanov, W. A.:* Organisation der Bedienung bei beschränkter Information über die Zuverlässigkeit des Systems (in russischer Sprache). Moskau: Sovjetskoje radio 1975.

[2] *Beichelt, F.:* Optimale Inspektion und Erneuerung. Elektron. Informationsverarbeitung und Kybernetik (EIK) 8 (1972) H. 5, S. 283–290.

[3] *Beichelt, F.:* Prophylaktische Erneuerung von Systemen. Berlin: Akademie-Verlag 1976.

[4] *Beichelt, F.:* Maximale Verfügbarkeit bei Kostenbeschränkungen. msr 20 (1977) H. 6, S. 318–320.

[5] *Beichelt, F.:* Optimum inspection strategies if expected system lifetime is known. Transact. of the 8 th Prague Conference on Information Theory, Statistical Decision Functions and Random Processes. Prague: Academia (1978) pp. 113–120.

[6] *Hoeffding, W.:* The extrema of the expected value of a function of independent random variables. Ann. Math. Statistics 26 (1955) No. 3, pp. 268–275.

[7] *Platz, O.:* Availability of a renewable checked system. IEEE Trans. on Reliability R-25 (1970) No. 1, pp. 56–58.

msr 6906

Doz. Dr. sc. nat. *W. Preuß* und Dipl.-Ing. *H. Schubert*, Wismar[1])

Berechnung der Momentanverfügbarkeit im Falle des alternierenden Erneuerungsprozesses

IA 4.1.4.

0. Einleitung

In der Praxis ist die Kenntnis der stationären Verfügbarkeit V einer Anlage oft ausreichend, wenn man sich nur für deren Langzeitverhalten interessiert. Es gibt aber auch viele Fälle, wo gerade die Anfangsphase nach der Inbetriebnahme von Bedeutung ist.

Beispielsweise haben umfangreiche Untersuchungen ergeben, daß bei großen Anlagen der Nachrichtentechnik die Momentanverfügbarkeit $V(t)$, also die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Anlage zum Zeitpunkt t funktionstüchtig ist, wesentlich geringer ist als die stationäre Verfügbarkeit V und daß diese Anfangsphase verminderter Verfügbarkeit Monate oder gar Jahre andauern kann (vgl. [4]). Es versteht sich von selbst, daß dann die Kenntnis der Momentanverfügbarkeit $V(t)$ und des Zeitpunkts der Beendigung dieser Anfangsphase von Interesse sein muß.

Wir nehmen an, daß unser betrachtetes System aus n Komponenten besteht. Diese Komponenten sollen Betrachtungseinheiten im Sinne der Zuverlässigkeit bzw. Instandhaltung sein und voneinander unabhängig arbeiten. Das Zuverlässigkeitsverhalten der Komponente i sei eindeutig durch folgende Zufallsgröße bestimmt, $i = 1, 2, \dots, n$:

$$z_i(t) := \begin{cases} 1; & \text{die } i\text{-te Komponente funktioniert zur Zeit } t \\ 0; & \text{die } i\text{-te Komponente ist zur Zeit } t \text{ ausgefallen.} \end{cases}$$

Unter der Voraussetzung, daß die System-Funktion $S(x_1, \dots, x_n)$ (Definition s. [6]) bekannt ist, kann die Verfügbarkeit $V(t)$ des Systems aus den Komponentenverfügbarkeiten $v_i(t)$ $(i = 1, \dots, n)$ berechnet werden.

Der Beitrag befaßt sich deshalb mit der praktischen Ermittlung der Momentanverfügbarkeit $v(t)$ einer einzelnen Komponente, jedoch zunächst nur für den Fall eines alternierenden Erneuerungsprozesses.

1. Alternierender Erneuerungsprozeß

Angenommen wird, daß die betrachtete Komponente nach einem Ausfall sofort repariert (oder ausgewechselt) wird. Dabei sollen die Lebensdauern der Komponente nach jeder Reparatur die Verteilungsfunktion $F(x)$, $F(x) = 0$ für $x \leqq 0$, haben, die Reparaturdauern sollen ebenfalls identisch nach $G(x)$, $G(x) = 0$ für $x \leqq 0$, verteilt sein.

Bekanntlich gilt dann für die Momentanverfügbarkeit $v(t)$ der Komponente (d. h. für die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Komponente zum Zeitpunkt t funktionsfähig ist)

$$v(t) = p\bar{F}(t) + p \int_0^t \bar{F}(t-x)\,\mathrm{d}H_1(x) + (1-p) \int_0^t \bar{F}(t-x) \times \times \mathrm{d}H_0(x)\,, \tag{1}$$

worin p die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß die Komponente zum Zeitpunkt $t = 0$ funktioniert. Dabei gelten folgende Bezeichnungen:

$$\bar{F}(x) := 1 - F(x)\,;$$

$$H_0(x) := G(x) + \sum_{n=1}^{\infty} G(x) * [F(x) * G(x)]^{*n}\,; \tag{2}$$

$$H_1(x) := \sum_{n=1}^{\infty} [F(x) * G(x)]^{*n}\,; \tag{3}$$

$$F(x) * G(x) = [F(x) * G(x)]^{*1} := \int_0^x F(x-u)\,\mathrm{d}G(u)\,;$$

$$[F(x) * G(x)]^{*n} := [F(x) * G(x)] * [F(x) * G(x)]^{*(n-1)}$$

$$(n = 2, 1, \dots)\,.$$

(Für den Fall $p = 1$ s. [1]). Während die stationäre Verfügbarkeit v nach der einfachen Gleichung

$$v = \frac{L}{L+R} \tag{4}$$

berechnet werden kann, worin $L := \int_0^\infty \bar{F}(x)\,\mathrm{d}x$ und $R = \int_0^\infty \bar{G}(x)\,\mathrm{d}x$ die Erwartungswerte von Lebens- und Reparaturdauer sind (für allgemeinere 1-Komponenten-Systeme s. [2]), ist die Gl. (1) zur praktischen Berechnung der Momentanverfügbarkeit kaum geeignet.

Deshalb beschäftigt sich der nächste Abschnitt mit der Herleitung von praktisch besser auswertbaren Möglichkeiten zur Ermittlung von $v(t)$.

2. Zugang über Integralgleichungen

Zunächst leiten wir uns aus Gl. (1) eine Integralgleichung für $v(t)$ ab. Unter Verwendung der Beziehung $H_0(x) = G(x) + G(x) * H_1(x)$ läßt sich Gl. (1) in der Form

$$v(t) = [p\bar{F}(t) + (1-p)\,\bar{F}(t) * G(t)] + + [p\bar{F}(t) + (1-p)\,\bar{F}(t) * G(t)] * H_1(t) \tag{5}$$

schreiben. Hieraus ergibt sich durch Faltung mit $F(t) * G(t)$ unter Beachtung der Reihendarstellung (3) die Gleichung

$$v(t) * [F(t) * G(t)] = [p\bar{F}(t) + (1-p)\,\bar{F}(t) * G(t)] * * H_1(t)\,,$$

so daß schließlich nach Einsetzen dieser Beziehung in Gl. (5) die Integralgleichung 2. Art

$$v(t) = p\bar{F}(t) + (1-p)\,\bar{F}(t) * G(t) + v(t) * [F(t) * G(t)] \tag{6}$$

für die Momentanverfügbarkeit $v(t)$ erhalten wird. Aus praktischer Sicht kann man voraussetzen, daß $F(x)$ und $G(x)$ die Dichten $f(x)$ und $g(x)$ haben. Dann läßt sich Gl. (6) als eine gewöhnliche Volterrasche Faltungsintegralgleichung 2. Art

$$v(t) = b(t) + \int_0^t k(t-u)\,v(u)\,\mathrm{d}u \tag{7}$$

mit

$$b(t) := p\bar{F}(t) + (1-p) \int_0^t \bar{F}(t-u)\,g(u)\,\mathrm{d}u \tag{8}$$

[1]) Mitteilung aus der IH Wismar, Abt. Mathematik/Naturwissenschaften und Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik.

und

$$k(t) := \int_0^t f(t-u)\, g(u)\, \mathrm{d}u \tag{9}$$

schreiben. Die Momentanverfügbarkeit $v(t)$ erhält man dann als Lösung von Gl. (7) unter Anwendung spezieller Rechnerprogramme (wie etwa [7]).

Bemerkung: Man könnte $v(t)$ auch nach der Gleichung

$$v(t) = p\bar{F}(t) + \int_0^t \bar{F}(t-u)\, \mathrm{d}H(u) \tag{10}$$

berechnen, wobei $H(t)$ Lösung der Integralgleichung 1. Art

$$\int_0^t \psi(t-u)\, \mathrm{d}H(u) = \Phi(t) \tag{11}$$

mit

$$\psi(t) := t - \int_0^t F(t-u)\, G(u)\, \mathrm{d}u \tag{12}$$

und

$$\Phi(t) := pt + (1-p) \int_0^t G(u)\, \mathrm{d}u - p\, \psi(t) \tag{13}$$

ist. Durch Anwendung der Laplace-Stieltjes-Transformation läßt sich zeigen, daß Gl. (11) die Lösung $H(t) = pH_1(t) + (1-p)\, H_0(t)$ hat, so daß die Gl. (10) mit Gl. (1) übereinstimmt. Falls $H(t)$ die erste Ableitung $h(t)$ hat, so läßt sich Gl. (11) als gewöhnliche Volterrasche Faltungsgleichung 1. Art aufschreiben.

3. Spezialfälle

Obwohl die Gl. (7) rechentechnisch gut verwertbar ist, kann man in Spezialfällen einfachere Ausdrücke für $b(t)$ und $k(t)$ angeben, in denen keine Dichten benötigt werden. Das kann u. U. von Vorteil sein, wenn etwa eine der auftretenden Verteilungsfunktionen $F(x)$, $G(x)$ eine unstetige Dichtefunktion hat.

Ist z. B. $F(x)$ beliebig und $G(x)$ eine Exponentialverteilung

$$G(x) = 1 - \mathrm{e}^{-\mu x}, \qquad G(x) = 0 \quad \text{für} \quad x \leqq 0, \tag{14}$$

mit der Reparaturrate μ, so erhält man $v(t)$ einfacher aus der Volterraschen Faltungsgleichung 2. Art

$$v(t) = b_1(t) - \mu \int_0^t \bar{F}(t-u)\, v(u)\, \mathrm{d}u \tag{15}$$

mit

$$b_1(t) = p\bar{F}(t) + \mu \int_0^t \bar{F}(u)\, \mathrm{d}u\, . \tag{16}$$

Hier spielen Dichtefunktionen keine Rolle mehr, und offensichtlich ist Gl. (15) einfacher zu behandeln als G. (7) mit $g(x) = \mu \mathrm{e}^{-\mu x}$. Noch einfacher wird Gl. (15), indem man anstelle der Verfügbarkeit $v(t)$ die Nichtverfügbarkeit $\bar{v}(t) = 1 - v(t)$ numerisch aus der Gleichung

$$\bar{v}(t) = 1 - p\bar{F}(t) - \mu \int_0^t \bar{F}(t-u)\, \bar{v}(u)\, \mathrm{d}u \tag{17}$$

ermittelt. Die Gln. (17) und (15) stehen in unmittelbarem Zusammenhang. In [4] wurde Gl. (17) über die Methode der Zusatzvariablen ermittelt. Andererseits erhält man aber Gl. (15) (und damit Gl. (17)) für den vorliegenden Spezialfall auch direkt aus Gl. (6). Um dies zu zeigen, wird Gl. (6) mit $G'(x) = g(x) = \mu\, \mathrm{e}^{-\mu x}$ in der Form geschrieben

$$v(t) = p\bar{F}(t) + (1-p)\, \mu \int_0^t \bar{F}(t-x)\, \mathrm{e}^{-\mu x}\, \mathrm{d}x + \int_0^t v(t-x)[F * G(x)]'\, \mathrm{d}x\, ,$$

wobei

$$[F * G(x)]' = \left[\mu \int_0^x F(x-u)\, \mathrm{e}^{-\mu u}\, \mathrm{d}u\right]' = \left[\mu \int_0^x \mathrm{e}^{-\mu(x-u)}\, F(u)\, \mathrm{d}u\right]' = -\mu^2 \int_0^x \mathrm{e}^{-\mu(x-u)}\, F(u)\, \mathrm{d}u + \mu F(x)$$

ist. Die Lapalace-Transformation ergibt

$$v(z) = p\bar{F}(z) + (1-p) \frac{\mu}{z+\mu} \bar{F}(z) + z \frac{\mu}{z+\mu} F(z)\, v(z)\, ,$$

woraus

$$(z+\mu)\, v(z) = pz\bar{F}(z) + \mu\bar{F}(z) + z\mu F(z)\, v(z)$$

folgt. Weitere Umformung führt zu

$$zv(z) = pz\bar{F}(z) + \mu\bar{F}(z) + \mu v(z)\, [zF(z) - 1]\, ,$$

so daß mit $\bar{F}(z) = \frac{1}{z} - F(z)$

$$v(z) = p\bar{F}(z) + \frac{\mu}{z} \bar{F}(z) - \mu\bar{F}(z)\, v(z)$$

erhalten wird. Das ist aber gerade die Laplace-transformierte Gleichung (15).

Analog erhält man für den Fall

$$F(x) = 1 - \mathrm{e}^{-\lambda x}, \qquad F(x) = 0 \quad \text{für} \quad x \leqq 0\, , \tag{18}$$

und beliebige Verteilung $G(x)$ die Integralgleichung

$$v(t) = 1 - (1-p)\, \bar{G}(t) - \lambda \int_0^t \bar{G}(t-u)\, v(u)\, \mathrm{d}u \tag{19}$$

für die Verfügbarkeit $v(t)$.

Der Vollständigkeit wegen geben wir noch die Verfügbarkeit für den Fall an, daß $F(x)$ und $G(x)$ Exponentialverteilungen sind, etwa gegeben durch die Gln. (14) und (18). Hier läßt sich die Integralgleichung (7) geschlossen (z. B. mit Hilfe der Laplace-Transformation) lösen, und man erhält die bekannte Lösung (für den Fall $p = 1$ s. [6])

$$v(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \left(p - \frac{\mu}{\mu+\lambda}\right) \mathrm{e}^{-(\mu+\lambda)t}\, . \tag{20}$$

4. Numerische Ergebnisse

Wir betrachten hier nur den Fall, daß die Reparaturdauern exponentiell verteilt sind nach Gl. (14) und die Funktionsdauern einer Weibull-Verteilung

$$F(x) = 1 - \mathrm{e}^{-(x/T)^\alpha} \qquad (T > 0, \alpha > 0) \tag{21}$$

genügen. Wegen

$$R = \int_0^\infty \bar{G}(x)\, \mathrm{d}x = 1/\mu \quad \text{und} \quad L = \int_0^\infty \bar{F}(x)\, \mathrm{d}x = T\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)$$

gilt für die stationäre Verfügbarkeit die Gleichung

$$v = \frac{\mu T\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{1 + \mu T\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)} \tag{22}$$

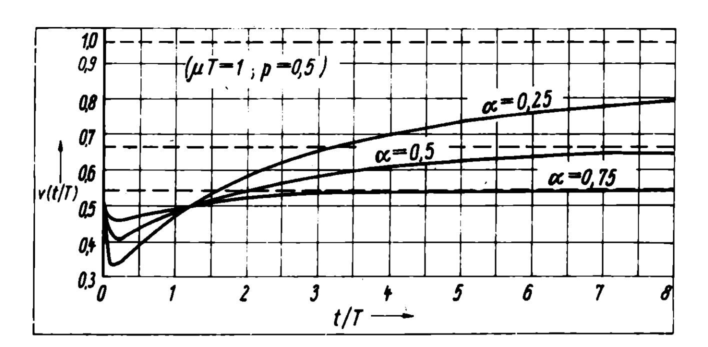


Bild 1. Verfügbarkeit $v(t/T)$ für $\mu T = 1$; $p = 0{,}5$

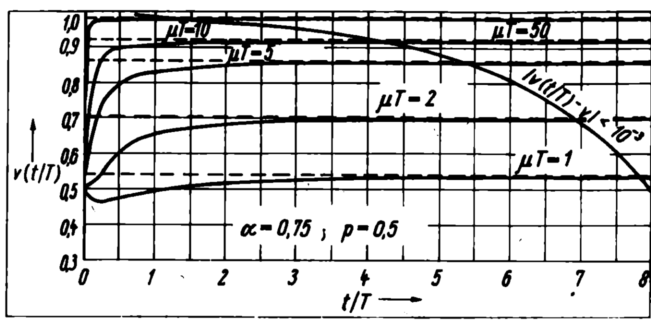


Bild 2. Verfügbarkeit $v(t/T)$ für $\alpha = 0{,}75$, $p = 0{,}5$

(die Werte für die Gamma-Funktion $\Gamma(x + 1)$ entnimmt man entsprechenden Tafelwerken [3]).

Die Bilder 1 und 2 geben den aus Gl. (17) (mit Hilfe des Programmes [7]) berechneten Verlauf für die Verfügbarkeit $v(t/T)$ für einige Parameterkombinationen an.

In den Schnittpunkten der im Bild 2 von links oben nach rechts unten verlaufenden Kurve mit den Kurven für $v(t/T)$ ist die Abweichung der Momentanverfügbarkeit vom jeweiligen stationären Wert v (gestrichelte Linie) bereits kleiner als 10^{-3}, d. h., die Phase verminderter Verfügbarkeit könnte als beendet angesehen werden.

Schließlich geben wir noch ein Beispiel für die Berechnung der Verfügbarkeit $V(t)$ eines einfachen Systems an. Das System soll aus zwei Komponenten bestehen, die simultan arbeiten. Das System gilt erst dann als ausgefallen, wenn beide Komponenten gleichzeitig funktionsunfähig sind. Wir nehmen an, daß für jede der Komponenten ein alternierender Erneuerungsprozeß gilt (d. h., es werden zwei Reparatureinheiten benötigt). Die entsprechenden Verteilungen, die Anfangswahrscheinlichkeiten und die Verfügbarkeiten der Komponenten werden mit $F_i(x)$, $G_i(x)$, p_i, $v_i(t)$, v_i $(i = 1, 2)$ bezeichnet. Die System-Funktion lautet im vorliegenden Fall $S(x_1, x_2) = x_1 + x_2 - x_1, x_2$, so daß entsprechend [6] die Verfügbarkeiten $V(t)$ und V des Systems gemäß

$$V(t) = v_1(t) + v_2(t) - v_1(t)\, v_2(t) \tag{23}$$

und

$$V = v_1 + v_2 - v_1 v_2 \tag{24}$$

berechnet werden können.

Für

$$F_1(x) = 1 - \mathrm{e}^{-(x/T)^{\alpha_1}}\,; \qquad G_1(x) = 1 - \mathrm{e}^{-\mu_1 x}\,;$$

$$p_1 = 0{,}5\,;$$

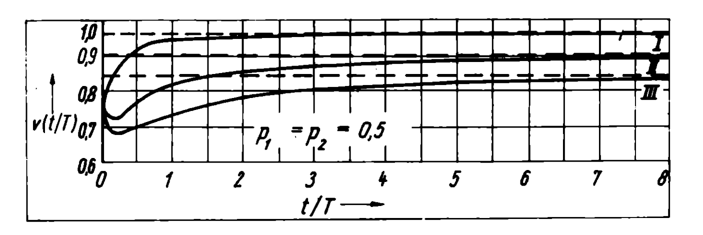
und

$$F_2(x) = 1 - \mathrm{e}^{-(x/T)^{\alpha_2}}\,; \qquad G_2(x) = 1 - \mathrm{e}^{-\mu_2/x}\,;$$

$$p_2 = 0{,}5;$$

ergeben sich für verschiedene Kombinationen der α_i, μ_i annähernd folgende Kurvenverläufe für die normierte Verfügbarkeit $V(t/T)$ (Bild 3).

Bild 3. Normierte Verfügbarkeit



Für die drei Kurven wurden die folgenden Parameterkombinationen benutzt:

I: $\mu_1 T = 2$, $\mu_2 T = 5$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 0{,}75$;

II: $\mu_1 T = 1$, $\mu_2 T = 2$, $\alpha_1 = 0{,}5$, $\alpha_2 = 0{,}75$;

III: $\mu_1 T = \mu_2 T = 1$, $\alpha_1 = 0{,}75$, $\alpha_2 = 0{,}5$.

Offensichtlich ist die Verfügbarkeit eines solchen Doppelelementes größer als die Verfügbarkeiten der einzelnen Komponenten.

Literatur

[1] *Gnedenko, B. W.; Beljajev, J. K.; Solowjev, A. D.:* Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie I. Berlin: Akademie-Verlag 1968.

[2] *Franken, P.; Streller, A.:* A General Method for Calculation of Stationary Interval Reliability of Complex Systems with Repair. EIK 14 (1978) No. 6, pp. 283–290.

[3] *Jahnke-Emde:* Tafeln höherer Funktionen. Leipzig: 1952.

[4] *Preuss, W.; Schubert, H.:* Beitrag zur Berechnung der Verfügbarkeit technischer Systeme in der Frühausfallphase. Nachrichtentechnik. Elektronik 29 (1979) H. 7, S. 301–304.

[5] *Schmeidler, W.:* Integralgleichungen mit Anwendungen in Physik und Technik. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1955.

[6] *Störmer, H.:* Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit. Berlin: Akademie-Verlag 1970.

[7] *Tabbert, E.:* Untersuchungen zur Struktur und Implementation eines Programmiersystems für lineare Volterrasche Integralgleichungen zweiter Art und ihre Realisierung auf ESER-Anlagen. Dissertation A, Pädagogische Hochschule Güstrow 1977.

msr 7057

Dipl.-Ing. *J. Lunze, Dresden*[1])

Übersicht über die Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler für lineare zeitinvariante Systeme

IA 2.3.1.0

0. Einleitung

Für den Entwurf von Mehrgrößenregelungen zur Minimierung eines quadratischen Gütefunktionals oder zur Verschiebung der Eigenwerte der Regelstrecke sind in den letzten 20 Jahren viele Prinzipien und Verfahren entwickelt worden [4]. Die Regelungsaufgabe wird dabei durch Rückführungen gelöst, die alle Systemausgänge mit allen Eingängen verkoppeln und deshalb als zentrale Regler bezeichnet werden (Bild 1). Voraussetzungen für die Anwendung dieser Regelungskonzepte sind die Kenntnis eines vollständigen Streckenmodells sowie die Verfügbarkeit aller Meßwerte an einem zentralen Punkt.

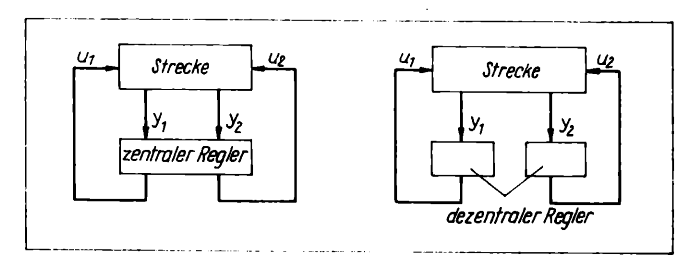


Bild 1. Blockschaltbild einer zentralen und einer dezentralen Regelung

Mit zunehmender Komplexität der Anlage wird es immer problematischer, diese beiden Forderungen zu erfüllen. Die Aufstellung eines Modells des Gesamtsystems wird vor allem durch die Verschiedenartigkeit der miteinander verkoppelten technologischen Prozesse und deren unterschiedliche administrative Unterstellung erschwert. Der Aufbau eines zentralen Reglers ist mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, weil umfangreiche Informationsübertragungssysteme für die Meßwerte und Stellbefehle sowie eine große On-line-Rechnerkapazität notwendig sind [6]. Ein Ausweg aus diesen Schwierigkeiten besteht in der Dezentralisierung sowohl des Reglers als auch des Entwurfes, wobei von entsprechenden Zerlegungen der Regelstrecke und der Regelungsaufgabe ausgegangen wird.

Die Dezentralisierung der Regelung bedeutet, daß die Teilaufgaben durch unabhängige Rückführungen gelöst werden, von denen jede nur einen Teil der Ein- und Ausgangsgrößen der Regelstrecke erfaßt, die aber gemeinsam den dezentralen Regler des Gesamtsystems bilden (Bild 1). Dadurch werden sowohl der Aufwand für die Informationsübertragung der Meßwerte und Stellbefehle zwischen dem Regler und der Strecke als auch der zur Realisierung des Reglergesetzes notwendige Rechenaufwand gesenkt. Die erhaltenen Lösungen zeichnen sich außerdem durch Zuverlässigkeit und Übersichtlichkeit aus und sind zur Realisierung mit Hilfe von Mikrorechnern gut geeignet

Im Vergleich zur zentralen Regelung stellt die Dezentralisierung der Regelung eine Einschränkung der möglichen Kopplungen zwischen den Ausgängen und Eingängen der Strecke über den Regler dar. Aus diesem Grunde treten neue Probleme bei der Modellierung, der Beschreibung der qualitativen Eigenschaften des Systemverhaltens sowie beim Reglerentwurf auf [7].

Die Dezentralisierung des Entwurfes heißt, daß die einzelnen Teilregler unabhängig voneinander und aufgrund unterschiedlicher, das Systemverhalten nur teilweise wiedergebender Modelle berechnet werden. Da der zu einem bestimmten Teilsystem gehörige dezentrale Teilregler die anderen Teilsysteme nur über die Koppelgrößen beeinflußt, ist für seinen Entwurf neben dem Modell des entsprechenden Teilsystems lediglich eine globale Information über die Eigenschaften der anderen Teilsysteme erforderlich. Durch die Dezentralisierung des Entwurfes werden also die Voraussetzungen an das Modell stark reduziert. Damit verbunden ist allerdings die Frage nach einer geeigneten Erfassung und Verarbeitung der globalen Information über die angekoppelten Teilsysteme, um zu sichern, daß die getrennt voneinander entworfenen Teilregler zu einem günstigen, mindestens aber stabilen Verhalten des Gesamtsystems führen.

Die große Zahl neuer Veröffentlichungen zur dezentralen Regelung zeigt, daß den genannten Problemen gegenwärtig ein großes Interesse entgegengebracht wird. Die bisher erhaltenen Ergebnisse können aber noch nicht in einer abgeschlossenen Theorie zusammengefaßt werden [3]. Das betrifft insbesondere die Entwurfsverfahren für dezentrale Regler an linearen zeitinvarianten Regelstrecken. Diese erschienen in der Literatur bisher nur im Zusammenhang mit sehr weit verzweigten praktischen Problemstellungen oder allgemein-theoretischen Untersuchungen und sind in ihrer Gesamtheit schwer überschaubar. In diesem Beitrag soll deshalb ein Überblick über den bisher erreichten Stand des Entwurfes dezentraler Regler gegeben werden. Die bekannten deterministischen Entwurfsverfahren werden zu drei Gruppen zusammengefaßt, deren unterschiedliche Lösungsprinzipien, ausgehend von der gemeinsamen Aufgabenstellung, in den Abschnitten 3 und 4 gegenübergestellt werden. Dabei wird sowohl auf den zentralen als auch auf den dezentralen Entwurf eingegangen.

Neben der hier behandelten Entwurfsaufgabe gibt es Ansätze zur Berechnung dezentraler Regler für stochastisch gestörte Systeme sowie für dezentrale Regelungen, deren Teilregler durch direkte Informationskopplungen miteinander verbunden sind. Für eine Zusammenfassung der dafür erreichten Ergebnisse wird auf die Literaturstellen [1] und [8] verwiesen.

1. Entwurfsaufgabe

Es wird von einer linearen, zeitinvarianten Regelstrecke ausgegangen, die im Zustandsraum durch die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}(t) &= \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{x}(0) &= \boldsymbol{x}_0 \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{x}(t) \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

mit $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{u}$ und $\boldsymbol{y}$ als n, m- und r-dimensionale Vektoren der Zustände, Eingänge und Ausgänge beschrieben werden kann. Die Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen werden entsprechend der angestrebten Dezentralisierung der Regelung in N Teilvektoren $\boldsymbol{u}_i$ bzw. $\boldsymbol{y}_i$ der Dimensionen m_i und r_i zusammengefaßt (Bild 1), wodurch Gl. (1) in

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}(t) &= \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{x}(t) + \sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{B}_i\cdot\boldsymbol{u}_i(t) \\ \boldsymbol{x}(0) &= \boldsymbol{x}_0 \\ \boldsymbol{y}_i(t) &= \boldsymbol{C}_i\cdot\boldsymbol{x}(t) \qquad (i = 1, 2, \ldots, N) \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

[1]) Mitteilung aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Bereich Regelungssysteme, Dresden.

mit $\boldsymbol{u} = (\boldsymbol{u}_1', \boldsymbol{u}_2', \dots, \boldsymbol{u}_N')'$, $\boldsymbol{y} = (\boldsymbol{y}_1', \boldsymbol{y}_2', \dots, \boldsymbol{y}_N')'$ und $\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{B}_1, \boldsymbol{B}_2, \dots, \boldsymbol{B}_N)$, $\boldsymbol{C} = (\boldsymbol{C}_1', \boldsymbol{C}_2', \dots, \boldsymbol{C}_N')'$ überführt wird. Es wird also angenommen, daß die Zerlegung des Reglers in dezentrale Teilregler durch eine Stellgrößen-Regelgrößen-Zuordnung $(\boldsymbol{u}_i, \boldsymbol{y}_i)$ vorgegeben ist.

Ein Teil der Entwurfsverfahren setzt voraus, daß das Gesamtsystem (1) aufgrund seiner physikalischen Struktur in N Teilsysteme der Form

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}_i(t) &= \boldsymbol{A}_{ii}\boldsymbol{x}_i(t) + \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} \boldsymbol{A}_{ij}\boldsymbol{x}_j(t) + \boldsymbol{B}_{ii}\boldsymbol{u}_i(t) \\ \boldsymbol{x}_i(0) &= \boldsymbol{x}_{i0} \\ \boldsymbol{y}_i(t) &= \boldsymbol{C}_{ii}\boldsymbol{x}_i(t) \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

mit $\boldsymbol{x} = (\boldsymbol{x}_1', \boldsymbol{x}_2', \dots, \boldsymbol{x}_N')'$ zerlegt werden kann. Das bedeutet eine Einschränkung für die Verkopplung der Teilsysteme, die in der Blockdiagonalstruktur der Matrizen

$$\boldsymbol{B} = \operatorname{diag} \boldsymbol{B}_{ii} \quad \text{und} \quad \boldsymbol{C} = \operatorname{diag} \boldsymbol{C}_{ii} \tag{4}$$

zum Ausdruck kommt [2].

Der dezentrale Regler stellt dynamische Kopplungen zwischen den einander zugeordneten vektoriellen Größen $\boldsymbol{u}_i$ und $\boldsymbol{y}_i$ dar. Jeder Teilregler ist ein lineares zeitinvariantes dynamisches System, das durch die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{z}}_i(t) &= \boldsymbol{K}_{i4}\boldsymbol{z}_i(t) + \boldsymbol{K}_{i3}\boldsymbol{y}_i(t) \\ \boldsymbol{z}_i(0) &= \boldsymbol{z}_{i0} \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \\ \boldsymbol{u}_i(t) &= \boldsymbol{K}_{i2}\boldsymbol{z}_i(t) + \boldsymbol{K}_{i1}\boldsymbol{y}_i(t) \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

beschrieben werden kann. Der Zustandsvektor $\boldsymbol{z}_i$ des einzelnen Teilreglers sei p_i-dimensional. Werden nur statische Übertragungsglieder (mit P-Charakter) als dezentrale Regler verwendet, so erhält die Beschreibung die spezielle Gestalt

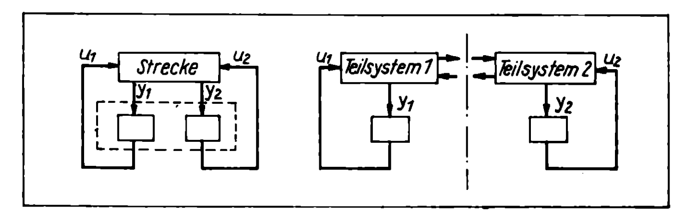
$$\boldsymbol{u} = \operatorname{diag} \boldsymbol{K}_{ii} \cdot \boldsymbol{y}\,. \tag{6}$$

Dabei kommt in der Blockdiagonalstruktur der Reglermatrix mit den (m_i, r_i)-Blöcken $\boldsymbol{K}_{ii}$ die Dezentralisierung des Reglers zum Ausdruck.

Tafel. Übersicht über die Prinzipien zum Entwurf dezentraler Regler

Entwurfsverfahren für dezentrale Regler

	(A) zentrale Entwurfsverfahren	(B) dezentrale Entwurfsverfahren



Grundlage des Entwurfs:	Entwurf des dezentralen Reglers am Gesamtsystem unter Berücksichtigung der Dezentralisierung des Reglers	Entwurf der Teilregler an den entkoppelten Teilsystemen mit Hilfe der Entwurfsverfahren für zentrale Regler
Problem	Berücksichtigung der dezentralen Reglerstruktur beim Entwurf	Sicherung der Stabilität/Mindestgüte für das gekoppelte System
Gruppen der Entwurfsverfahren:	(A1) Entwurf dezentraler Kompensatoren (A2) Entwurf optimaler und suboptimaler dezentraler Regler am Gesamtsystem	(B) Entwurf suboptimaler dezentraler Regler an den Teilsystemen

Das geregelte System (2) und (5) folgt der Beschreibung

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\bar{\boldsymbol{x}} = \bar{\boldsymbol{A}}\bar{\boldsymbol{x}}(t)\,, \tag{7}$$

wobei $\bar{\boldsymbol{x}} = (\boldsymbol{x}', \boldsymbol{z}_1', \boldsymbol{z}_2', \dots, \boldsymbol{z}_N')'$ die Zusammenfassung der Zustände der Regelstrecke und des Reglers ist und ferner gilt:

$$\bar{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A}^e + \boldsymbol{B}^e\boldsymbol{K}^e\boldsymbol{C}^e$$

mit

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{A}^e &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{pmatrix} \qquad & \boldsymbol{C}^e &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} \\ \boldsymbol{B}^e &= \begin{pmatrix} \boldsymbol{B} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} \qquad & \boldsymbol{K}^e &= \begin{pmatrix} \operatorname{diag} \boldsymbol{K}_{i1} & \operatorname{diag} \boldsymbol{K}_{i2} \\ \operatorname{diag} \boldsymbol{K}_{i3} & \operatorname{diag} \boldsymbol{K}_{i4} \end{pmatrix} \end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

Ziel des Reglerentwurfes ist die Erzeugung bestimmter Eigenschaften des geregelten Systems (7) durch eine entsprechende Wahl der Reglermatrix $\boldsymbol{K}^e$. Dabei werden die Güteforderungen wie bei der zentralen Regelung durch Vorgaben der Eigenwerte von $\bar{\boldsymbol{A}}$ oder durch ein zu minimierendes quadratisches Gütekriterium erfaßt.

Es ist folgende Entwurfsaufgabe zu lösen:

> Gegeben sind das Systemmodell (2) bzw. (3) einschließlich der Zerlegung der Ein- und Ausgänge entsprechend der Dezentralisierung der Regelung sowie Güteforderungen für das Verhalten des geschlossenen Kreises (7). Gesucht sind die Parameter des dezentralen Reglers (5), so daß die Güteforderungen erfüllt werden.

2. Übersicht über die Entwurfsverfahren

Die bisher veröffentlichten Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler für lineare zeitinvariante Strecken sind aus den Verfahren für zentrale Regler durch entsprechende Erweiterungen hervorgegangen. In Abhängigkeit von den für die Berechnung des Reglers notwendigen Informationen über das System können sie in zentral und dezentral arbeitende Entwurfsverfahren unterteilt werden (Tafel).

Beim zentralen Entwurf wird der dezentrale Regler als Ganzes am Modell der Regelstrecke ohne Rücksicht auf eine evtl. vorhandene Teilsystem-Struktur entworfen. Dafür müssen die bekannten Prinzipien zur Berechnung zentraler Rückführungen so verändert werden, daß die Dezentralisierung des Reglers während des Entwurfes berücksichtigt wird. Es entstehen zwei Gruppen zentraler Entwurfsverfahren:

(A1) Die Erweiterung der Verfahren zum Entwurf zentraler Kompensatoren mit dem Ziel der exakten Eigenwertverschiebung führt zum Entwurf dezentraler Kompensatoren.

(A2) Aus der Erweiterung des Optimalreglerentwurfes resultieren die Verfahren zur Berechnung optimaler und suboptimaler statischer dezentraler Regler.

Im Gegensatz dazu fordern die Verfahren des dezentralen Entwurfes eine Teilsystem-Struktur der Regelstrecke. Die Kopplungen zwischen den Teilsystemen werden zunächst ignoriert und die dezentralen Teilregler als zentrale Regler der entkoppelten Teilsysteme aufgefaßt. Diese können unabhängig voneinander mit Hilfe der bekannten Entwurfsverfahren für zentrale Regler berechnet werden, wofür das Gesamtgütekriterium in Teilkriterien zerlegt wird. Das Hauptproblem des dezentralen Entwurfes besteht in der Sicherung der Stabilität bzw. einer Mindestgüte, wenn die so entworfenen Regler an das gekoppelte System angeschlossen werden. Eine Lösung für dieses Problem existiert nur bei schwacher Kopplung der Teilsysteme. Der Begriff der schwachen Kopplung steht im engen Zusammen-

hang mit dem verwendeten Gütekriterium. Schwache Kopplung im Sinne der gegebenen Güteforderungen heißt, daß die an den gekoppelten Teilsystemen erreichten Werte der Teilgütekriterien für eine Abschätzung des Wertes des Gesamtkriteriums am gekoppelten System verwendet werden können.
Benutzt man für die Reglerberechnung auf der Teilsystem-Ebene den Optimalreglerentwurf, so kann die geforderte Abschätzung des Gesamtgütewertes unter Verwendung der Teilgütekriterien als Ljapunov-Funktionen der Teilsysteme vorgenommen werden. Die dabei erhaltenen Bedingungen für schwache Kopplung im Sinne des quadratischen Integralkriteriums werden von einer großen Klasse von Systemen erfüllt. Demgegenüber ist der Zusammenhang zwischen den Eigenwerten der entkoppelten Teilsysteme und denen des gekoppelten Gesamtsystems, abgesehen von Spezialfällen [9] und [10], schwer überschaubar. Die Bedingungen für schwache Kopplung im Sinne einer zielgerichteten Eigenwertverschiebung schränken deshalb die mögliche Dynamik der Regelstrecke stark ein [2], so daß bisher noch keine dezentralen Entwurfsverfahren unter Verwendung des Kompensatorentwurfes auf der Teilsystem-Ebene existieren und die Verfahren der Gruppe (B) ausschließlich vom Optimalreglerentwurf ausgehen.
Nachfolgend werden die Prinzipien der drei aufgeführten Verfahrensgruppen (A1), (A2) und (B) im einzelnen vorgestellt. Dabei wird auf die Grundidee zur Lösung der gestellten Entwurfsaufgabe, auf die daraus resultierenden Berechnungsvorschriften für den dezentralen Regler sowie auf die bekannten Erweiterungen der Verfahren eingegangen.

3. Zentraler Entwurf dezentraler Regler

3.1. Dezentraler Kompensator

3.1.1. Entwurfsprinzip (A1)

Durch einen dezentralen Kompensator nach (5) sollen die $n + p$ Eigenwerte der Matrix $\bar{A}$ des geregelten Systems (7) auf vorgegebene Werte verschoben werden. Für zentrale Regler (mit voll besetzter Reglermatrix K) wurde dieses Problem in [12] behandelt. Es wurde gezeigt, daß die vollständige Steuerbarkeit und vollständige Beobachtbarkeit der Paare (A, B) bzw. (A, C) notwendig und hinreichend dafür sind, daß durch einen Kompensator genügend hoher Ordnung $p (p \leqq n)$ allen $n + p$ Eigenwerten der Matrix $A^e + B^eKC^e$ des geschlossenen Kreises beliebige Werte zugewiesen werden können. Aufgrund der Strukturbegrenzung des Reglers nach (5) sind die genannten Eigenschaften der Regelstrecke für die Lösbarkeit des Problems mit Hilfe eines dezentralen Reglers nur noch notwendig [14]. Es muß deshalb nach einer neuen Systemcharakterisierung gesucht werden, die auch die Ableitung hinreichender Lösbarkeitsbedingungen gestattet. Eine solche Eigenschaft stellen die festen Modi des Systems in bezug auf die vorgegebene dezentrale Reglerstruktur dar [13].

Lösbarkeit des Entwurfsproblems:

Die *festen Modi* sind eine Verallgemeinerung der bei zentraler Regelung über die vollständigen Ein- und Ausgänge nicht steuerbaren oder nicht beobachtbaren Modi der Regelstrecke. Sie umfassen all diejenigen Modi von (3), die durch keine statische dezentrale Rückführung nach (6) verändert werden können. Die festen Modi werden durch ihre Eigenwerte charakterisiert, die in der Menge σ_0 zusammengefaßt sind.

Definition:

$$\sigma_0(C, A, B) = \bigcap_{K \in \mathfrak{K}} \sigma(A + BKC),$$

wobei

$$\mathfrak{K} = \{K: K = \operatorname{diag} K_{ii} \text{ mit } K_{ii} \in R^{r_i \times m_i}\}$$

die Menge aller statischen dezentralen Regler (6) mit der vorgegebenen Struktur ist und $\sigma(A)$ die Menge aller Eigenwerte von A bedeutet. Es gilt [13]

Satz 1: Notwendige und hinreichende Bedingung für die Lösbarkeit des dezentralen Polverschiebungsproblems:

> Es existiert genau dann eine Reglerordnung p, so daß für jede beliebige, aus $n + p$ reellen und konjugiert-komplexen Elementen bestehende Eigenwertmenge Λ eine Reglermatrix K^e nach (8) gefunden werden kann, mit der $\sigma(\bar{A}) = \Lambda$ gilt, wenn das System (1.2) keine festen Modi hat, d. h. $\sigma_0(C, A, B) = \emptyset$ ist.

Existieren feste Modi, so kann das System (2) genau dann durch dezentrale Regler stabilisiert werden, wenn die festen Modi stabil sind. Bemerkenswert ist, daß bei der Definition von σ_0 nur von statischen dezentralen Rückführungen nach (6) ausgegangen wird, die Aussage des Satzes 1 aber für dynamische Regler nach (5) beliebiger Ordnung gilt.

Zusammenhang zwischen den festen Modi und den Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitseigenschaften:

Für zentrale Regler ist bekannt, daß einem System genau dann beliebige Eigenwerte zugewiesen werden können, wenn es vollständig steuerbar und beobachtbar ist [12]. Eine entsprechende Darstellung der Lösbarkeit des dezentralen Problems mit Hilfe neu zu definierender Eigenschaften der dezentralen Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit wurde bisher nicht gefunden. Die in [17] bis [20] verwendeten Definitionen lassen eine solche Aussage nicht zu. In [14] bis [16] werden jedoch Zusammenhänge zwischen der Menge der festen Modi und den von der zentralen Regelung her bekannten Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitseigenschaften hergestellt.
In [14] wird gezeigt, daß durch statische Rückführungen nach (6) für alle $i \neq j$ das System (2) genau dann über ein einziges Eingangs-Ausgangs-Paar (u_j, y_j) vollständig steuerbar und beobachtbar gemacht werden kann, wenn es keine festen Modi besitzt. Dafür ist es notwendig, daß zwischen allen Eingängen u_i und allen Ausgängen y_j Kopplungen innerhalb der Regelstrecke bestehen. In anderen Arbeiten wie z. B. [15] und [16] wird für das System eine Teilsystem-Struktur (3) vorausgesetzt und der Zusammenhang zwischen den festen Modi und den Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitseigenschaften der entkoppelten Teilsysteme untersucht. Dadurch kann die relativ schwierige Aufgabe der Prüfung eines Systems auf feste Modi auf Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitsuntersuchungen der Teilsysteme zurückgeführt werden.

3.1.2. Entwurfsalgorithmus

Entsprechend den beschriebenen Systemeigenschaften gibt es zwei Wege zur Berechnung der dezentralen Regelung nach (5).

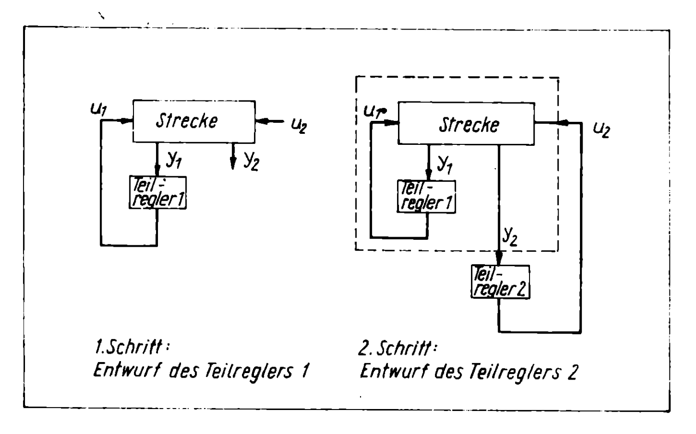


Bild 2. Entwurf eines dezentralen Kompensators

Das erste Verfahren ist eine Folgerung aus dem Beweis von Satz 1. Es wird im Bild 2 am Beispiel eines aus zwei Teilreglern bestehenden dezentralen Kompensators gezeigt [13]. Im ersten Schritt des Entwurfes wird der Teilregler 1 [Gl. (5) für $i = 1$] an dem System (2) berechnet. Dabei werden die p_1 Eigenwerte des Reglers und ein Teil der n Eigenwerte der Strecke auf vorgegebene Werte verschoben. Im zweiten Schritt dient das System (2) im Zusammenhang mit dem Teilregler 1 als Regelstrecke für den Entwurf des Kompensators nach (5) mit $i = 2$. Hierbei werden die p_2 Kompensatoreigenwerte und die restlichen Eigenwerte der Strecke nach (2) zielgerichtet verschoben, während alle anderen Eigenwerte auf ihren Plätzen verbleiben bzw. durch die Wahl des Teilreglers 2 dort belassen werden. Die dynamische Ordnung der nacheinander berechneten Kompensatoren vergrößert sich in jedem Entwurfsschritt, weil alle vorher entworfenen Teilregler im nächsten Schritt zur Regelstrecke gezählt werden.

Das zweite Verfahren zur Reglerberechnung resultiert aus den bereits erwähnten Steuerbarkeits- und Beobachtbarkeitsuntersuchungen in [14]. Zuerst werden statische Rückführungen nach (6) entworfen, durch die das geregelte System über das j-te Eingangs-Ausgangs-Paar vollständig steuerbar und beobachtbar gemacht wird. Im Bild 2 ist der Teilregler 1 eine statische Rückführung, mit der die Strecke über $\boldsymbol{u}_2$ und $\boldsymbol{y}_2$ vollständig steuerbar bzw. beobachtbar ist. Anschließend wird ein Kompensator nach Gl. (5) mit $i = j$ berechnet, der die geforderten Eigenwerte des geregelten Systems erzeugt. Die dynamische Ordnung des auf diese Weise berechneten Reglers ist wesentlich kleiner als bei der ersten Methode, weil die Systemordnung durch die statischen Rückführungen nicht erhöht wird. Nachteilig ist hingegen die „Unsymmetrie" des dezentralen Reglers, denn es kann Eigenwerte geben, die nur mit großen Reglerverstärkungen über den j-ten Eingang veränderlich sind.

Die Berechnungsvorschriften für den Kompensator sind den bekannten Veröffentlichungen über die zentrale Regelung zu entnehmen (z. B. [12]), weil sich die Arbeiten über dezentrale Kompensatoren mit Existenzaussagen begnügen und die Berechnungsalgorithmen nur andeuten.

3.1.3. Erweiterungen des Verfahrens

Das Entwurfsergebnis ist ein dezentraler Regler nach (5), der bei Erfüllung der in Satz 1 gestellten Bedingung die $n + p$ Eigenwerte des geregelten Systems auf beliebig vorgegebene Werte verschiebt. Seine dynamische Ordnung kann sehr groß werden. Diesem Nachteil in bezug auf die anderen Entwurfsverfahren steht der Vorteil gegenüber, daß auch instabile Systeme aufgrund eines systematischen Entwurfs stabilisiert werden können. Außerdem können bei Erfüllung von zusätzlichen Forderungen an die Regelstrecke folgende Erweiterungen dieses Entwurfsverfahrens zur Anwendung kommen:

- Die Ausgänge werden Sollwerten in Form aufklingender e-Funktionen asymptotisch nachgeführt; bleibende Störungen können ausgeregelt werden [21] bis [23].
- Die dezentralen Teilregler können in beliebiger Reihenfolge an die Strecke geschaltet werden, ohne daß das aus der Regelstrecke und einer beliebigen Zahl von Teilreglern bestehende System instabil wird [24].
- Für unbekannte Regelstrecken der Form (2) können die dezentralen Regler nach (5) anhand von Experimenten an der Strecke nacheinander entworfen werden [26].

3.2. *Optimale und suboptimale dezentrale Regler*

3.2.1. Optimale dezentrale Regler

3.2.1.1. Entwurfsprinzip (A2) für optimale dezentrale Regler

Ausgehend von den Ergebnissen des Optimalreglerentwurfes werden bei der dezentralen optimalen Regelung nur statische lineare Rückführungen nach (6) betrachtet. Die Reglermatrix ist so zu bestimmen, daß ein quadratisches Gütekriterium minimiert wird. Durch die in (6) enthaltene Strukturbeschränkung für den Regler ist die optimale Rückführung abhängig von den Anfangsbedingungen $\boldsymbol{x}_0$ [29]. Deshalb wird wie beim Entwurf optimaler Ausgangsrückführungen [28] mit dem Gütefunktional

$$J = E/\boldsymbol{x}_0 \left\{ \int_0^\infty (\boldsymbol{x}^T \boldsymbol{Q} \boldsymbol{x} + \boldsymbol{u}^T \boldsymbol{R} \boldsymbol{u}) \, \mathrm{d}t \right\} \tag{9}$$

gearbeitet, das den Wert des quadratischen Integralkriteriums bezüglich der Anfangsbedingungen mittelt. $E/\boldsymbol{x}_0\{\cdot\}$ stellt den Erwartungswert bei gleichverteiltem $\boldsymbol{x}_0$ dar, und die Matrix $\boldsymbol{R} = \operatorname{diag} \boldsymbol{R}_{\mathrm{ii}}$ ist entsprechend dem Steuervektor $\boldsymbol{u}$ partitioniert.

Für die Diagonalblöcke der Reglermatrix erhält man die folgende notwendige Optimalitätsbedingung. Sie stellt eine Erweiterung der Bedingungen für optimale zentrale Ausgangsrückführungen [28] auf dezentrale Rückführungen dar [27].

Satz 2: Notwendige Optimalitätsbedingung für statische dezentrale Regler:

$\boldsymbol{K}^* = \operatorname{diag} \boldsymbol{K}^*_{\mathrm{ii}}$ sei eine reale konstante (m, r)-Matrix mit $(m_{\mathrm{i}}, r_{\mathrm{i}})$-Diagonalblöcken $\boldsymbol{K}^*_{\mathrm{ii}}$. Das durch $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}^* \boldsymbol{y}$ geregelte System sei stabil. Eine notwendige Bedingung für die Optimalität von $\boldsymbol{K}^*$ entsprechend dem Zielfunktional (9) ist die Erfüllung des folgenden Gleichungssystems durch $\boldsymbol{K}^*$:

$$\left.\begin{aligned} &\boldsymbol{K}^*_{\mathrm{ii}} = -\boldsymbol{R}_{\mathrm{ii}}^{-1} \boldsymbol{B}'_{\mathrm{i}} \boldsymbol{P}^* \boldsymbol{V}^* \boldsymbol{C}'_{\mathrm{i}} (\boldsymbol{C}_{\mathrm{i}} \boldsymbol{V}^* \boldsymbol{C}'_{\mathrm{i}})^{-1} \qquad (i = 1, 2, \ldots N) \\ &\boldsymbol{V}^*: \boldsymbol{0} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^*\boldsymbol{C}) \boldsymbol{V}^* + \boldsymbol{V}^* (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^*\boldsymbol{C})' + \boldsymbol{I} \\ &\boldsymbol{P}: \boldsymbol{0} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^*\boldsymbol{C})' \boldsymbol{P}^* + \boldsymbol{P}^* (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^*\boldsymbol{C}) + \\ &\qquad + \boldsymbol{C}'\boldsymbol{K}^{*\prime}\boldsymbol{R}\boldsymbol{K}^*\boldsymbol{C} + \boldsymbol{Q} \,. \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

3.2.1.2. Entwurfsalgorithmus

Die Bestimmung von $\boldsymbol{K}^*$ aus dieser notwendigen Optimalitätsbedingung kann nur mit Hilfe aufwendiger Iterationsalgorithmen ausgeführt werden. Beim Verfahren nach [28] werden, ausgehend von einer Zwischenlösung $(\boldsymbol{K}_{\mathrm{k}}, \boldsymbol{V}_{\mathrm{k}}, \boldsymbol{P}_{\mathrm{k}})$ nach k Iterationen, $\boldsymbol{K}_{\mathrm{k+1}}$ und $\boldsymbol{V}_{\mathrm{k+1}}$ aus der ersten und weiten Zeile von (10) simultan bestimmt und anschließend $\boldsymbol{P}_{\mathrm{k+1}}$ aus der letzten Gleichung berechnet. Bei Verwendung einer Anfangsnäherung $\boldsymbol{K}_0$, für die die Matrix $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_0\boldsymbol{C}$ stabil ist, führt dieses Vorgehen in jedem Iterationsschritt zu einer Verbesserung des Gütewertes. Die Konvergenz des Algorithmus kann aber nicht nachgewiesen werden.

Ist keine stabile Anfangslösung $\boldsymbol{K}_0$ vorhanden, so kann unter Verwendung eines beliebigen Startwertes $\boldsymbol{K}_0$ der Algorithmus nach [31] benutzt werden. Dieser berechnet $\boldsymbol{V}_{\mathrm{k+1}}$ und $\boldsymbol{P}_{\mathrm{k+1}}$ aus $\boldsymbol{K}_{\mathrm{k-1}}$ und anschließend $\boldsymbol{K}_{\mathrm{k+1}}$ aus der ersten Gleichung. Dabei ist jedoch nicht gesichert, daß eine stabile Lösung gefunden wird.

Die Anwendung der ε-Methode zur Lösung von (10) wird in [30] untersucht. Es wird gezeigt, daß die Ableitungen ungerader Ordnung von $\boldsymbol{K}^*$ nach dem Kopplungsparameter ε verschwinden, die Berechnung der Ableitungen gerader Ordnung jedoch große Schwierigkeiten bereiten.

3.2.1.3 Entwurfsergebnis und Erweiterung des Verfahrens

Das Ergebnis des Entwurfes optimaler dezentraler Regler ist der im Sinne des gegebenen Gütekriteriums (9) bestmögliche statische dezentrale Regler. Für stabile Regelstrecken, bei denen eine solche optimale Lösung immer existiert, kann diese ein-

fache Rückführung sehr vorteilhaft zur Trajektorienverbesserung eingesetzt werden. Andererseits ist für instabile Strecken die Lösbarkeit der gestellten Aufgabe nicht gesichert. Diese Schwierigkeit bei der Anwendung der Optimalitätsbedingung (10) war der Grund für die Entwicklung der im nächsten Abschnitt beschriebenen Verfahren, die zu einer suboptimalen, aber einfacher berechenbaren Regelung führen.
Zur Ausregelung bleibender Störungen kann der optimale dezentrale Regler wie im Falle des zentralen Reglers durch eine Integralerweiterung in einen PI-Regler überführt werden [32].

3.2.2. Suboptimale dezentrale Regler

3.2.2.1. Entwurfsprinzip (A2) für suboptimale dezentrale Regler

Die meisten Berechnungsverfahren für suboptimale Regler gehen vom optimalen zentralen Regler aus, der mit Hilfe bekannter Algorithmen berechnet werden kann [32]. Sie suchen einen dezentralen Regler, mit dem die Trajektorie des optimal geregelten Systems möglichst gut durch die Trajektorie des dezetral geregelten Systems genähert wird. Zur Beurteilung dieser Näherung werden Approximationskriterien verwendet. Diese sind so aufgebaut, daß sie die Näherung der zentralen Lösung durch die dezentrale plausibel bewerten und gleichzeitig zu einfach berechenbaren Reglern führen. Die dabei erhaltenen dezentralen Regler führen zu einer entsprechend dem gewählten Approximationskriterium optimalen Näherung der zentralen Lösung, sind aber im Sinne des gegebenen Gütekriteriums (9) suboptimal.
Einige der zu dieser Gruppe zählenden Verfahren wurden für die Berechnung suboptimaler zentraler Ausgangsrückführungen entwickelt. Sie lassen sich aber ohne Schwierigkeiten für den Entwurf statischer dezentraler Regler nach (6) einsetzen.

3.2.2.2. Entwurfsalgorithmen

Der erste Entwurfsschritt besteht in der Berechnung der optimalen zentralen Zustandsrückführung

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}^z \boldsymbol{x} .$$

Es gilt [32]

$$\boldsymbol{K}^z = -\boldsymbol{R}^{-1}\mathbf{B}'\boldsymbol{P}^z \tag{11}$$

mit $\boldsymbol{P}^z$ als Lösung der algebraischen Riccati-Gleichung

$$\boldsymbol{A}'\boldsymbol{P}^z + \boldsymbol{P}^z\boldsymbol{A} - \boldsymbol{PBR}^{-1}\boldsymbol{B}'\boldsymbol{P} + \boldsymbol{Q} = 0 . \tag{12}$$

Die Reglermatrix $\boldsymbol{K}^z$ ist dabei voll besetzt. Sie kann entsprechend der Partionierung von $\boldsymbol{u}(t)$ in

$$\boldsymbol{K}^z = \begin{pmatrix} \boldsymbol{K}_1^z \\ \boldsymbol{K}_2^z \\ \cdots \\ \boldsymbol{K}_N^z \end{pmatrix} \tag{13}$$

zerlegt werden. Die Trajektorie des optimal zentral geregelten Systems folgt der Beschreibung

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{x}^z(t) = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^z)\,\boldsymbol{x}^z(t) \tag{14}$$

$$\boldsymbol{x}^z(0) = \boldsymbol{x}_0 .$$

Im zweiten Entwurfsschritt wird nach einer statischen dezentralen Rückführung

$$\boldsymbol{u} = \mathrm{diag}\,\boldsymbol{K}_{ii}^0 \cdot \boldsymbol{y}$$

gesucht, durch die die Trajektorie $\boldsymbol{x}^0(t)$ des dezentral geregelten Systems

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{x}^0(t) = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^0\boldsymbol{C})\,\boldsymbol{x}^0(t)$$

$$\boldsymbol{x}^0(0) = \boldsymbol{x}_0 \tag{15}$$

der Trajektorie $\boldsymbol{x}^z(t)$ bei zentraler Regelung entsprechend einem Approximationskriterium I möglichst nahe kommt. Für die Wahl von I werden im folgenden drei Ansätze vorgestellt:

a) direkter Vergleich der Trajektorien

Der Trajektorienfehler $\boldsymbol{e}(t) = \boldsymbol{x}^0(t) - \boldsymbol{x}^z(t)$ läßt sich aus (14) und (15) in Abhängigkeit von $\boldsymbol{K}^0$ aus den Gln.

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{e}}(t) &= (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^0\boldsymbol{C})\,\boldsymbol{e}(t) + \boldsymbol{B}(\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C} - \boldsymbol{K}^z)\,\boldsymbol{x}^z(t) \\ \boldsymbol{e}(0) &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

bestimmen. Da die Anfangsbedingung verschwindet, ist die Größe des Trajektorienfehlers maßgebend von dem als „Störung“ des Systems (16) interpretierbaren zweiten Summanden auf der rechten Seite der Differentialgleichung abhängig. Aus diesem Grunde wird die Erregung

$$\boldsymbol{s}(t) = (\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C} - \boldsymbol{K}^z)\,\boldsymbol{x}^z(t) \tag{17}$$

minimiert. Verwendet man dafür das Approximationskriterium

$$I_1 = \int_0^\infty \boldsymbol{s}'(t)\,\boldsymbol{Rs}(t)\,\mathrm{d}t \to \min_{\boldsymbol{K}^0} , \tag{18}$$

so heißt die suboptimale dezentrale Lösung [27]

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{K}_{ii}^{01} &= \boldsymbol{K}_i^z\boldsymbol{V}\boldsymbol{C}_i'(\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{V}\boldsymbol{C}_i')^{-1} \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \\ \boldsymbol{V}&: 0 = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^z)\,\boldsymbol{V} + \boldsymbol{V}(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^z)' + \boldsymbol{I} . \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

Andererseits erhält man bei Benutzung des Kriteriums

$$I_2 = ||\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C} - \boldsymbol{K}^z|| \to \min_{\boldsymbol{K}^0} \tag{20}$$

die Rückführung [27] und [37]

$$\boldsymbol{K}_{ii}^{02} = \boldsymbol{K}_i^z\boldsymbol{C}_i'(\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{C}_i')^{-1} ; \qquad (i = 1, 2, \dots, N) . \tag{21}$$

Die Minimierung von I_2 kann auch als Forderung interpretiert werden, daß die dezentrale Regelung dieselbe „Verstärkung“ wie die optimale zentrale Rückführung haben soll. Die entstehende Lösung berücksichtigt die Verkopplung innerhalb der Regelstrecke nur in ungenügendem Maße. Das zeigt der Fall $N = 2$ mit $\boldsymbol{C}_1 = (\mathrm{I}\ 0)$, $\boldsymbol{C}_2 = (0\ \mathrm{I})$, wofür bei der Zerlegung

$$\boldsymbol{K}^z = \begin{pmatrix} \boldsymbol{K}_{11}^z & \boldsymbol{K}_{12}^z \\ \boldsymbol{K}_{21}^z & \boldsymbol{K}_{22}^z \end{pmatrix}$$

aus (21) die Lösung $\boldsymbol{K}_{ii}^0 = \boldsymbol{K}_{ii}^z$ $(i = 1, 2)$ entsteht, d. h., aus der Matrix der zentralen optimalen Zustandsrückführung werden unabhängig von der Verkopplung der Strecke die Nichtdiagonalblöcke gestrichen und die Hauptdiagonalblöcke unverändert übernommen.

b) Vergleich der Eigenwerte der geregelten Systeme

Da die Eigenwerte die Trajektorie des Systems in entscheidendem Maße beeinflussen, kann ein Approximationskriterium aus dem Vergleich der Eigenwerte von $\boldsymbol{A}^0 = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^0\boldsymbol{C}$ und $\boldsymbol{A}^z = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK}^z$ aufgestellt werden. Ein Eigenwert λ_i der Matrix $\boldsymbol{A}^z$ ist zugleich Eigenwert von $\boldsymbol{A}^0$, wenn unter Verwendung des zu λ_i gehörenden Eigenvektors $\boldsymbol{w}_i$ von $\boldsymbol{A}^z$ gilt

$$\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C}\boldsymbol{w}_i = \boldsymbol{K}^z\boldsymbol{w}_i .$$

Da wegen der Strukturbeschränkung im allgemeinen kein $\boldsymbol{K}^0$ gefunden werden kann, mit dem diese Gleichung für alle n Eigenwerte erfüllt ist, wird als Approximationskriterium

$$I_{3i} = ||(\boldsymbol{K}_{ii}^0\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{W} - \boldsymbol{K}_i^z\boldsymbol{W})\,\boldsymbol{T}|| \to \min_{\boldsymbol{K}_{ii}^0} ; \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \tag{22}$$

eingeführt. Dabei ist $\boldsymbol{W}$ die Matrix der Eigenvektoren von $\boldsymbol{A}^z$, und $\boldsymbol{T}$ ist eine Wichtungsmatrix. Aus der Minimierung von I_3 über $\boldsymbol{K}_{ii}^0$ erhält man [33]

$$\left.\begin{aligned} &\boldsymbol{K}_{ii}^{03} = \boldsymbol{K}_i^z\boldsymbol{WT}(\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{WT})'\,[(\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{WT})\cdot(\boldsymbol{C}_i\boldsymbol{WT})']^{-1} \\ &(i = 1, 2, \dots, N) . \end{aligned}\right\} \tag{23}$$

Durch die Wahl der Wichtungsmatrix $\boldsymbol{T}$ kann beeinflußt werden, welche Eigenwerte von $\boldsymbol{A}^z$ besser und welche schlechter durch die entsprechenden Eigenwerte von $\boldsymbol{A}^0$ approximiert werden. Verwendet man nämlich für $\boldsymbol{T}$ die Diagonalmatrix $\boldsymbol{T} = \text{diag}\, \boldsymbol{t}_{ii}$, dann stellt $\boldsymbol{t}_{ii}$ das Gewicht dar, mit dem der Abstand zwischen dem Eigenwert λ_i von $\boldsymbol{A}^z$ und dem entsprechenden Eigenwert von $\boldsymbol{A}^0$ in das Kriterium I_3 eingeht.

c) Vergleich der Gütewerte

Ein Teil der Entwurfsverfahren geht von dem Vergleich der Gütewerte der zentral und der dezentral geregelten Kreise aus. Das Integralkriterium (9) hat für die optimale zentrale Zustandsrückführung (11) den Wert

$$J^z = \boldsymbol{x}_0' \boldsymbol{P}^z \boldsymbol{x}_0 \,, \tag{24}$$

wobei $\boldsymbol{P}^z$ aus (12) folgt. Für die dezentrale Regelung $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}^0 \boldsymbol{C} \boldsymbol{x}$ erhält man

$$J^0 = \boldsymbol{x}_0' \boldsymbol{P}^0 \boldsymbol{x}_0 \tag{25}$$

mit $\boldsymbol{P}^0$ aus

$$(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C})' \boldsymbol{P}^0 + \boldsymbol{P}^0(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C}) + \boldsymbol{C}'\boldsymbol{K}^{0\prime}\boldsymbol{R}\boldsymbol{K}^0\boldsymbol{C} + \boldsymbol{Q} = 0 \,. \tag{26}$$

Aus einem Vergleich von J^z und J^0 können nun verschiedene Approximationskriterien zur Bestimmung von $\boldsymbol{K}^0$ abgeleitet werden (siehe [35] und [36]), beispielsweise

$$I_4 = ||\boldsymbol{P}^0 - \boldsymbol{P}^z|| \to \min_{\boldsymbol{K}^0} .$$

Für die Minimierung dieser Funktionale nach $\boldsymbol{K}^0$ wird in den entsprechenden Veröffentlichungen auf Suchverfahren verwiesen, was bei dezentralen Reglern mit vielen Ein- und Ausgängen sehr aufwendig ist.

3.2.2.3. Entwurfsergebnis und Erweiterungen der Verfahren

Die erhaltenen suboptimalen Regler entstehen aus einer plausiblen Bewertung der Approximation der Dynamik des optimal zentral geregelten Systems durch das Verhalten bei dezentraler Regelung. Bei Verwendung der Kriterien I_1, I_2 oder I_3 lassen sich die Reglermatrizen aus den einfachen Beziehungen (19), (21) und (23) bestimmen. Da in die angegebenen Approximationskriterien nicht der Trajektorienfehler $\boldsymbol{e}(t)$ selbst, sondern nur dessen Einflußgrößen eingehen, ist die Stabilität der mit den erhaltenen Rückführungen aufgebauten Kreise nach (15) nicht gesichert. Im Anschluß an den Entwurf müssen deshalb die Stabilität geprüft und die tatsächlich erreichte Regelgüte berechnet werden. Der Vorteil des Kriteriums I_3 gegenüber den anderen besteht in dem Vorhandensein freier Wichtungsparameter, durch die die dezentrale Lösung beeinflußt werden kann [34].

Die Verwendung der Approximationskriterien der Gruppe c) führt stets zu einem stabilen geregelten System, weil $\boldsymbol{P}^0$ aus (26) positiv definit sein muß. Dafür haben die Verfahren aber den Nachteil, daß die dezentralen suboptimalen Lösungen nur mit Hilfe von aufwendigen Suchverfahren gefunden werden können.

Außer den Prinzipien a), b) und c) zur Berechnung suboptimaler dezentraler Regler sind Verfahren bekannt geworden, die die Güteforderungen durch andere Integralkriterien als Gl. (9) erfassen und auf diesem Wege zu einfacher berechenbaren Rückführungen kommen (z. B. [38] bis [40]). Sie haben wie die Verfahren der Gruppe c) den Vorteil, daß die Stabilität der geregelten Kreise gesichert ist, greifen bei der Berechnung der Reglermatrix aber ebenfalls auf Suchverfahren zurück.

4. Dezentraler Entwurf dezentraler Regler

4.1. *Entwurfsprinzip* (*B*)

Weist die Regelstrecke eine Teilsystem-Struktur entsprechend Gl. (3) auf, dann können die Teilregler

$$\boldsymbol{u}_i = \boldsymbol{K}_{ii} \cdot \boldsymbol{y}_i \qquad (i = 1, 2, \dots, N) \tag{27}$$

als zentrale Regler an den entkoppelten Teilsystemen entworfen werden. Dafür kommen die Berechnungsalgorithmen für Optimalregler zur Anwendung, wobei $\boldsymbol{y}_i = \boldsymbol{x}_i$ vorausgesetzt ist. Anstelle des gegebenen Gütefunktionals (9) wird mit Teilkriterien der Form

$$J_i = \int_0^\infty (\boldsymbol{x}_i' \bar{\boldsymbol{Q}}_{ii} \boldsymbol{x}_i + \boldsymbol{u}_i \bar{\boldsymbol{R}}_{ii} \boldsymbol{u}_i)\, dt \tag{28}$$

gearbeitet, die den zum Teilsystem i gehörigen Regler (27) im Sinne von (9) bewerten [siehe z. B. Gl. (34); dezentrale Regelungen mit konkurrierenden Teilzielen werden hier nicht behandelt].

Die Optimalregler der entkoppelten Teilsysteme heißen dann

$$\hat{\boldsymbol{K}}_{ii} = - \boldsymbol{R}_{ii}^{-1} \hat{\boldsymbol{B}}_{ii}' \boldsymbol{P}_{ii} \tag{29}$$

mit $\hat{\boldsymbol{P}}_{ii}$ aus

$$\boldsymbol{A}_{ii}' \hat{\boldsymbol{P}}_{ii} + \hat{\boldsymbol{P}}_{ii} \boldsymbol{A}_{ii} - \hat{\boldsymbol{P}}_{ii} \boldsymbol{B}_{ii} \bar{\boldsymbol{R}}_{ii} \boldsymbol{B}_{ii}' \hat{\boldsymbol{P}}_{ii} + \bar{\boldsymbol{Q}}_{ii} = 0 \,. \tag{30}$$

Für ihre Berechnung ist nur das Modell des entkoppelten Teilsystems i erforderlich.

In Abhängigkeit von den beim Entwurf unberücksichtigt gelassenen Kopplungen der Teilsysteme innerhalb der Regelstrecke führt der so berechnete dezentrale Regler

$$\boldsymbol{u} = \hat{\boldsymbol{K}} \boldsymbol{y} \quad \text{mit} \quad \hat{\boldsymbol{K}} = \text{diag}\, \hat{\boldsymbol{K}}_{ii} \tag{31}$$

am Gesamtsystem (3) zu einem entsprechend Gl. (9) mehr oder weniger guten Verhalten. Dabei sind auch Instabilitäten des geregelten Gesamtsystems möglich. Das Hauptproblem des dezentralen Entwurfes besteht folglich in der Bestimmung der Stabilitätseigenschaften und des Gütewertes J aus Gl. (9) für das durch (31) geregelte System (3). Es ist ferner zu untersuchen, wie die Wichtungsmatrizen $\bar{\boldsymbol{Q}}_{ii}$ und $\bar{\boldsymbol{R}}_{ii}$ der Teilkriterien (28) gewählt werden müssen, damit der unabhängige Entwurf der Teilregler (27) zu einem befriedigenden Verhalten des geregelten Gesamtsystems führt.

Bei der Lösung dieses Problems wird von der Tatsache ausgegangen, daß für die Teilsysteme Ljapunov-Funktionen

$$v_i(\boldsymbol{x}_i) = \sqrt{\boldsymbol{x}_i' \hat{\boldsymbol{P}}_{ii} \boldsymbol{x}_i}$$

mit $\hat{\boldsymbol{P}}_{ii}$ aus (30) bekannt sind. Mit Hilfe von Stabilitätsbedingungen für gekoppelte Systeme [41] kann damit die Stabilität des Gesamtsystems geprüft und der Suboptimalitätsindex

$$\eta = \frac{\hat{J} - J^z}{J^z} \tag{32}$$

als Maß für die erreichte Güte abgeschätzt werden. In (32) wird der Wert $\hat{J}$ des Gütefunktionales (9) bei dezentraler Regelung nach (31) mit dem Gütewert J^z aus (24) für das optimal zentral geregelte System verglichen. Es gilt [46]:

Satz 3: Hinreichende Stabilitätsbedingung für das dezentral geregelte System

Das System (3) in Verbindung mit dem dezentralen Regler (31) ist stabil, wenn die Matrix $\boldsymbol{W} = (w_{ij})$

mit

$$w_{ij} = \begin{cases} -\frac{1}{2} \frac{\lambda_{min} \boldsymbol{T}_{ii}}{\lambda_{max} \widehat{\boldsymbol{P}}_{ii}} & \text{für } i = j \\ l_{ij} \frac{\lambda_{max} \boldsymbol{P}_{ij}}{(\lambda_{min} \widehat{\boldsymbol{P}}_{ii} \cdot \lambda_{min} \widehat{\boldsymbol{P}}_{jj})^{1/2}} & \text{für } i \neq j \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} \boldsymbol{T}_{ii} = \widehat{\boldsymbol{K}}_{ii}' \boldsymbol{R}_{ii}^{-1} \widehat{\boldsymbol{K}}_{ii} + \boldsymbol{Q}_{ii} \\ l_{ij} = \sqrt{\lambda_{max} (\boldsymbol{A}_{ij}' \boldsymbol{A}_{ij})} \end{array} \right\} \quad (33)$$

nur Eigenwerte mit negativem Realteil besitzt. Bei Verwendung der Zerlegung

$$J = \sum_{i=1}^{N} J_i \quad (34)$$

erhält man dann als eine obere Schranke $\bar{\eta}$ für den Suboptimalitätsindex η nach (32):

$$\bar{\eta} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} l_{ij}}{\frac{\min_i (\lambda_{min} \boldsymbol{T}_{ii})}{2 \max_i (\lambda_{max} \widehat{\boldsymbol{P}}_{ii})} - \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} l_{ij}} . \quad (35)$$

$\lambda_{min}(\ldots)$ bzw. $\lambda_{max}(\ldots)$ stellen die kleinsten bzw. größten Eigenwerte der angegebenen Matrizen dar. Ähnliche Stabilitätsbedingungen und Güteabschätzungen sind in [42] bis [44] und [50] angegeben.

Wie die Ableitungen der Gln. (33) und (35) in [46] zeigen, sind obere Abschätzungen der Koppelkoeffizienten l_{ij} und der geforderten Eigenwerte zur Anwendung von Satz 3 ausreichend, so daß für den dezentralen Entwurfsalgorithmus ein Modell des Gesamtsystems nicht notwendig ist.

Die Bedingung (33) kann als Bedingung für schwache Kopplung der Teilsysteme interpretiert werden, weil bei ihrer Einhaltung die an den entkoppelten Teilsystemen entworfenen Teilregler auch am gekoppelten Gesamtsystem zu einem stabilen Verhalten führen. Es ist zu erkennen, daß sie nicht nur von den Koppelmatrizen $\boldsymbol{A}_{ij}$, sondern im Zusammenhang damit auch von dem Regler und den Wichtungsmatrizen $\overline{\boldsymbol{Q}_{ii}}$ und $\overline{\boldsymbol{R}_{ii}}$ abhängt.

Gleichung (34) stellt die einfachste Zerlegung des Gütekriteriums J in Teilkriterien dar und führt deshalb nicht bei allen Systemen zu befriedigenden Reglern. Bei starker Kopplung, bei der die Bedingung (33) nicht mehr erfüllt wird, muß beim Entwurf auf der Teilsystem-Ebene Rücksicht auf die Verkopplungen innerhalb der Regelstrecke genommen werden. In [43] bis [48] sind Strategien für die Wahl der Wichtungsmatrizen $\overline{\boldsymbol{Q}_{ii}}$ und $\overline{\boldsymbol{R}_{ii}}$ der Teilkriterien J_i angegeben, durch die die Erfüllung der Stabilitätsbedingung (34) und ein kleiner Suboptimalitätsindex angestrebt werden.

4.2. Entwurfsalgorithmus

Der dezentrale Entwurf dezentraler Regler besteht aus der getrennten Berechnung der Teilregler als Optimalregler nach (29) der entkoppelten Teilsysteme und der anschließenden Stabilitätsprüfung nach (33) und Güteabschätzung nach (35) auf einer der Teilreglerberechnung übergeordneten Ebene. Der Algorithmus hat also einen hierarchischen Aufbau. Der „Koordinator" gibt die Wichtungsmatrizen $\overline{\boldsymbol{Q}_{ii}}$ und $\overline{\boldsymbol{R}_{ii}}$ der Teilkriterien (28) im Sinne eines guten Verhaltens des geregelten Gesamtsystems vor, und auf der Teilsystem-Ebene werden die Teilregler aus den eigennützigen Minima von (28) bestimmt. Insgesamt sind dafür nur unabhängige Modelle der Teilsysteme und Abschätzungen für die Kopplungen notwendig.

Der dezentrale Entwurf dezentraler Regler kann als eine Systematisierung der „ingenieurmäßigen" Herangehensweise verstanden werden, die Teilsysteme zunächst isoliert zu betrachten und nach dem getrennten Entwurf der Teilregler abzuschätzen, welche Regelgüte für das gekoppelte System auf diese Weise erreicht wird.

4.3. Entwurfsergebnis und Erweiterungen der Verfahren

Mit Hilfe des dezentralen Entwurfes werden dezentrale Regler berechnet, die im Sinne des Gütekriteriums (9) suboptimal sind. Dafür ist kein vollständiges Modell des Gesamtsystems notwendig, und der Entwurf wird an den entkoppelten Teilsystemen mit entsprechend kleiner Ordnung der zu lösenden Gleichungen durchgeführt.

Die beschriebene Entwurfsstrategie führt nur bei schwacher Kopplung im Sinne der Erfüllung der Forderungen aus Satz 3 bzw. ähnlicher Bedingungen zum Ziel. Die in den angegebenen Veröffentlichungen behandelten Beispiele zeigen, daß diese Bedingungen bei vielen praktischen Aufgabenstellungen eingehalten werden.

Die entworfene Regelung ist auch funktionsfähig, wenn das Gesamtsystem durch Auftrennung der Kopplungen während des Betriebes in seine Teilsysteme zerfällt [46] bis [48]. Bei der Weiterentwicklung der dezentralen Entwurfsverfahren wird angestrebt, die durch die Koordinaten vorgegebene Modifikation der Gütekriterien der Teilsysteme aus globalen Informationen über die Teilsystem-Verkopplungen abzuleiten, um dadurch den Koordinator des Entwurfsverfahrens überflüssig zu machen und zu einem vollständig dezentralisierten Entwurf zu kommen. Dabei erweist sich die in Gl. (9) vorausgesetzte Aufspaltung des Gesamtsystems in disjunkte Teilsysteme als Hindernis, weil keine Informationen über die Kopplungen in die Modelle der Teilsysteme eingehen. Für Verfahren mit sich „überlappenden" Teilsystemen gibt es aber z. Z. nur wenige Ansätze [40] [49] und [50], da in diesen Fällen die Anwendung der bekannten Stabilitätskriterien für gekoppelte Systeme Schwierigkeiten macht und die Frage nach einer Güteabschätzung anhand globaler Systeminformationen neu untersucht werden muß.

Zusammenfassung

Bei der Lösung umfangreicher Automatisierungsaufgaben wird es mit zunehmender Komplexität der Anlage immer schwieriger, sämtliche für den Entwurf und die Realisierung einer zentralen Regelung notwendigen Information über das Systemverhalten bereitzustellen. Deshalb soll das Entwurfsziel durch eine dezentrale Regelung erreicht werden, die aus mehreren unabhängig voneinander arbeitenden Reglern besteht. Diese Regler sind aufgrund ihrer dezentralen Struktur und des einfachen Reglergesetzes weniger aufwendig als zentrale Regler und eignen sich zur Realisierung durch Mikrorechner.

Der Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der deterministischen Entwurfsverfahren für dezentrale Regler an linearen zeitinvarianten Regelstrecken. Die bisher bekannten Verfahren beruhen auf drei unterschiedlichen Prinzipien, die in Tafel 1 zusammengestellt und mit (A1), (A2) und (B) bezeichnet sind. Beim zentralen Entwurf wird der dezentrale Regler am Modell des Gesamtsystems berechnet.

Dabei sichert der Entwurf dezentraler Kompensatoren die zielgerichtete Verschiebung der Eigenwerte des geregelten Systems, während die statischen dezentralen Regler zu einem möglichst kleinen Wert des quadratischen Integralkriteriums führen. Die dezentralen Entwurfsverfahren berechnen die dezentralen Teilregler als zentrale Regler an den entkoppelten Teilsystemen

und sind deshalb nur bei schwach gekoppelten Systemen anwendbar.

Für die Weiterentwicklung der Theorie der dezentralen Regelung stellen die dezentralen Entwurfsverfahren einen Schwerpunkt dar. Sie nutzen die Struktureigenschaften großer Systeme beim Entwurf und kommen dadurch zu einer Wertung der für den Entwurf und die Realisierung des Reglers notwendigen Informationen. Eng damit verbunden ist die noch weitestgehend unbeantwortete Frage, in welcher Weise der Regler dezentralisiert werden soll. Schließlich kann der dezentrale Entwurf dezentraler Regler wegen der vorgenommenen Problemabrüstung entsprechend den Struktureigenschaften der Strecke eine Ausgangsbasis für die Behandlung gekoppelter nichtlinearer Systeme sein.

Literatur

[1] *Sandell, N. R.; Varaiya, P.; Athans, M.; Safonov, Y. G.:* A survey of decentralized control methods for largescale systems. IEEE Trans. AC-23 (1978) No. 2, pp. 108–128.

[2] *Lunze, J.:* Übersicht über verschiedene Möglichkeiten der dezentralen Regelung gekoppelter dynamischer Systeme im Hinblick auf die Verwendbarkeit in Elektroenergie-Verbundsystemen. Interner Forschungsbericht des ZKI, Dresden 1977.

[3] Special issue on large-scale systems and decentralized control. IEEE-Trans. AC-23 (1978) No. 2, pp. 105–362.

[4] *Korn, U.; Wülfert, H. H.:* Mehrgrößenregelungssysteme. Jahrestagung der WGMA, Berlin 1976.

[5] *Javdan, M. R.; Richards, R. J.:* Decentralized control systems theory: A critical evaluation. Intern. J. Control **26** (1977) No. 1, pp. 129–144.

[6] *Chong, C. Y.:* Decentralization, coordination and reliability of large-scale systems. Proc. IEEE-Southeastcon Conf., Clemson 1976, pp. 262–264.

[7] *Aoki, M.:* Some control problems associated with decentralized dynamical systems. IEEE Trans. AC-16 (1971) No. 4, pp. 515–516.

[8] *Tacker, E. C.; Sanders, C. W.; Linton, T. D.:* Some results in decentralized filtering and control. IFAC-Symposium on large-scale systems theory and applications, Udine 1976, pp. 401–408.

[9] *Milne, R. D.:* The analysis of weakly coupled dynamic systems. Intern. J. Control **2** (1965) No. 2, pp. 171–200.

[10] *Özgüner, Ü.:* On the weak interconnections of composite dynamic systems. Proc. IEEE Conf. on Decision and Control, Houston 1975, pp. 810–814.

[11] *Davison, E. J.:* Recent results on decentralized control of large-scale multivariable systems. Proc. 4. IFAC-Symposium on multivariable systems, Fredericton 1977; pp. 1–10.

[12] *Brasch, F. M.; Pearson, J. B.:* Pole placement using dynamic compensators. IEEE Trans. AC-15 (1970) No. 1, pp. 34–43.

[13] *Wang, S. H.; Davison, E. J.:* On the stabilization of decentralized control systems· IEEE Trans. AC-18 (1973) No. 5, pp. 473–478.

[14] *Corfmat, J. P.; Morse, A. S.:* Decentralized control of multivariable systems. Automatica **12** (1976) No. 5, pp. 479–495.

[15] *Lunze, J.:* Stabilisierbarkeit linearer gekoppelter Systeme durch dezentrale Regelung. msr **21** (1978) H. 3, S. 127–129.

[16] *Lunze, J.:* Stabilizability of linear decentralized control systems. 3. Formator-Symposium on mathematical methods for the analysis of large-scale systems, Liblice (CSSR) 1978.

[17] *Fujita, S.:* On the observability of decentralized dynamic systems. Information and Control **26** (1974) No. 1, pp. 45–60.

[18] *Yoshikawa, T.; Kobayashi, H.:* Observability of decentralized discrete-time control systems. Intern. J. Control **22** (1975) No. 1, pp. 83–96.

[19] *Kobayashi, H.; Hanafusa, H.; Yoshikawa, T.:* Controlability under decentralized information structure. IEEE Trans. AC-23 (1978) No. 2, pp. 182 to 188.

[20] *Davison, E. J.:* Connectability and structural controllability of composite systems. Automatica **13** (1977) No. 1, pp. 109–123.

[21] *Davison, E. J.:* Decentralized control in large multivariable systems. Proc. IEEE Conf. on Decision and Control, Houston 1975, pp. 467–475.

[22] *Davison, E. J.:* The robust decentralized control of a general servomechanism problem. IEEE Trans. AC-**21** (1976) No. 1, pp. 14–24.

[23] *Davison, E. J.:* The robust decentralized servomechanism problem with extra stabilizing control agents. IEEE Trans. AC-22 (1977) No. 2, pp. 256 to 258.

[24] *Davison, E. J.; Gesing, W.:* Sequential stability and optimization of large-scale decentralized systems. Proc. 4-IFAC-Symposium on multivariable systems. Fredericton 1977, pp. 39–46.

[25] *Davison, E. J.; Tripathi, N. K.:* The optimal decentralized control of a large power system: load and frequency control. IEEE Trans. AC-23 (1978) No. 2. pp. 312–324.

[26] *Davison, E. J.:* Decentralized robust control of unknown systems using tuning regulators. IEEE Trans. AC-**23** (1978) No. 2, pp. 276–288.

[27] *Kosut, R. L.:* Suboptimal control of linear time-invariant systems subject to control structure constraints. IEEE Trans. AC-15 (1970) No. 5, pp. 557 to 563.

[28] *Levine, W. S.; Athans, M.:* On the determination of constant output feedback gains for linear multivariable systems. IEEE Trans. AC-15 (1970) No. 1, pp. 44–48.

[29] *Hassan, M. F.; Singh, M. G.:* A hierachical structure for computing near optimal decentralized control. IEEE Trans. SMC-8 (1978) No. 7, pp. 575 to 579.

[30] *Linton, T. D.; Fischer, D. R.; Tacker, E. C.; Sanders, C. W.:* Decentralized control of an interconnected electric energy system subject to information flow constraints. Proc. IEEE-Conf. on Decision and Control, San Diago 1973, pp. 728–730.

[31] *Naeije, W. J.; Valk, P.; Bosgra, C. H.:* Design of optimal incomplete state feedback controllers for large linear constant systems. Proc. 5, IFIP-Conf. on Optimization Techniques, Roma 1973, pp. 375–382.

[32] *Anderson, B. D. O.; Moore, J. B.:* Linear optimal control. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1971.

[33] *Bengtsson, G.; Lindahl, S.:* A design scheme for incomplete state or output feedback with application to boiler and power system control. Automatica **10** (1974) No. 1, pp. 15–30.

[34] *Martin, K.; Küßner, K.:* Variantenuntersuchungen zum zentralen FÜ-Regler anhand simulierter Beispiele. Forschungsbericht des ZKI, Anhang 3, Dresden 1976.

[35] *Rekasius, Z. V.:* Optimal linear regulators with incomplete state feedback. IEEE Trans. AC-12 (1976) No. 3, pp. 296–299.

[36] *Koivuniemi, A. S.:* A computational technique for the design of specific optimal controllers. IEEE Trans. AC-12 (1967) No. 2, pp. 180–183.

[37] *Ulm, S. Ju.:* O približennych metodach sinteza upravlenij (über Näherungsmethoden der Reglersynthese). Automatika i Telemechanika **5** (1972), No. 5, Str. 27–32.

[38] *Man, F. T.:* Suboptimal control of linear time-invariant systems with incomplete feedback. IEEE AC-15 (1970) No. 1, pp. 112–114.

[39] *Dabke, K. P.:* Suboptimal linear regulators with incomplete state feedback. IEEE Trans. AC-15 (1970) No. 3, pp. 384–386.

[40] *Isaksen, L.; Payne, M.:* Suboptimal control of linear systems by augmentation with application to freeway traffic regulation. IEEE Trans. AC-18 (1973) No. 3, pp. 210–219.

[41] *Athans, M.; Sandell, W.; Varaiya, P.:* Stability of interconnected systems. Proc. Conf. Decision and Control, Houston 1975, pp. 456–462.

[42] *Bailey, F. N.; Ramypriay, H. K.:* Bounds on suboptimality in the control of linear dynamic systems. IEEE Trans. AC-18 (1973) No. 5, pp. 532–534.

[43] *Bailey, F. N.; Wang, F. C.:* Decentralized control strategies for linear systems. Proc. 6. Asilomar Conf., Pacific Grove 1972, pp. 370–374.

[44] *Özgüner, Ü.:* Local optimization in large-scale composite systems. Proc. 9. Asilomar Conf., Pacific Grove 1975, pp. 87–91.

[45] *Olm, A.:* Ob odnom metode dekompozicii dlja sinteza suboptimalnych upravlenij (Über eine Methode zur Synthese suboptimaler Regelungen). Izvestija Akademii Nauk Estonskoj SSR **20** (1971) No. 2, Str. 129–135.

[46] *Šiljak, D. D.:* Multilevel stabilization of large-scale systems: A spinning flexible spacercraft. Automatica **12** (1976) No. 4, pp. 309–320.

[47] *Šiljak, D. D.; Vukčević, M. B.:* On hierarchical stabilization of large-scale linear systems. Proc. 8. Asilomar Conf., North Hollywood 1974, pp. 503 to 507.

[48] *Šiljak, D. D.; Sundrešhan, M. K.:* On hierarchical optimal control of large-scale systems. Proc. 8. Asilomar Conf. North Hollywood 1974, pp. 495–502.

[49] *Hassan, M. F.; Singh, M. G.:* Robust decentralized controller for linear-interconnected dynamic systems. Proc. IEE **125** (1978) No. 5, pp. 429–433.

[50] *Mageirou, E.; Ho, Y. C.:* Decentralized stabilization via game theoretic methods. IFAC-Symposium on large scale systems theory, Udine 1976, pp. 467–477.

[51] *Šiljak, D. D.:* On dezentralized control of large-scale systems. Preprints VII. IFAC-Congress, Helsinki 1978, pp. 1849–1856.

msr 6855

Dr.-Ing. *Vu Ngoc Phán*, Hanoi[1])

Optimale Zustandsschätzung stochastischer dynamischer Doppelsysteme

IA 2.3.2.0.

0. Einleitung

Eine der wichtigsten und an erster Stelle zu lösenden Aufgaben bei der optimalen Steuerung stochastischer dynamischer Systeme ist die Schätzung der Systemzustände, da eine realisierbare Steuerung nach dem Feedback-Prinzip aus der Schätzung der aktuellen Zustände des zu steuernden Systems konstruiert wird. Daher hängt die Qualität der Steuerung von der Qualität der Schätzung ab. Die Schätzaufgabe ist deshalb optimal zu lösen. Weiterhin muß, falls man eine Real-Time-Steuerung realisieren will, der Schätzalgorithmus der Echtzeitverarbeitung der Meßwerte entsprechend mit kleiner Operationszeit gewählt werden. Diese Forderungen kann der Algorithmus von *R. E. Kalman* [1] gut erfüllen.

Das Ziel des Beitrages ist, die Anwendung des Algorithmus von *R. E. Kalman* zur Zustandsschätzung stochastischer dynamischer Doppelsysteme darzulegen. Doppelsysteme sind Systeme, die aus zwei Teilsystemen bestehen, wobei das eine auf das andere wirkt und umgekehrt. Solche Systeme sind sehr häufig zu finden (z. B. zwei Raumschiffe während eines Kopplungsmanövers, die beiden elektrischen Maschinen eines Leonard-Satzes oder ganz allgemein zwei technologische Prozesse, die parallel zueinander ablaufen und sich gegenseitig beeinflussen).

2. Systemmodell und Voraussetzungen

Im allgemeinen kann man dynamische kontinuierliche Prozesse als Grenzfall entsprechend diskreter Prozesse desselben Systems ansehen [2]. Deshalb wird die vorliegende Darlegung nur auf diskrete Prozesse bezogen.

Betrachtet wird das stochastische, dynamische, diskrete, lineare System der Form

$$\boldsymbol{x}_1(k+1) = \boldsymbol{A}_{11}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_1(k) + \boldsymbol{A}_{12}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_2(k) + \boldsymbol{B}_1(k+1, k)\, \boldsymbol{w}_1(k) \quad (1)$$

$$\boldsymbol{x}_2(k+1) = \boldsymbol{A}_{21}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_1(k) + \boldsymbol{A}_{22}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_2(k) + \boldsymbol{B}_2(k+1, k)\, \boldsymbol{w}_2(k) \quad (2)$$

Dabei sind:

$\boldsymbol{x}_1(k) \in \boldsymbol{R}^n$ Zustandsvektor des 1. Teilsystems,

$\boldsymbol{x}_2(k) \in \boldsymbol{R}^m$ Zustandsvektor des 2. Teilsystems,

$\boldsymbol{w}_1(k) \in \boldsymbol{R}^p$ Störungsvektor für das 1. Teilsystem,

$\boldsymbol{w}_2(k) \in \boldsymbol{R}^q$ Störungsvektor für das 2. Teilsystem,

$$\left.\begin{array}{l} \boldsymbol{A}_{11}(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{n\times n} \\ \boldsymbol{A}_{12}(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{n\times m} \\ \boldsymbol{A}_{21}(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{m\times n} \\ \boldsymbol{A}_{22}(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{m\times m} \\ \boldsymbol{B}_1(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{n\times p} \\ \boldsymbol{B}_2(k+1, k) \in \boldsymbol{R}^{m\times q} \end{array}\right\} \text{Systemmatrizen,}$$

$k = 0, 1, 2, \ldots$.

Die Beobachtung wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\boldsymbol{y}(k+1) = \boldsymbol{H}_1(k+1)\, \boldsymbol{x}_1(k+1) - \boldsymbol{H}_2(k+1)\, \boldsymbol{x}_2(k+1) + \boldsymbol{v}(k+1) \quad (3)$$

Dabei sind:

$\boldsymbol{y}(k+1) \in \boldsymbol{R}^r$ Ausgangsvektor,

$\boldsymbol{H}_1(k+1) \in \boldsymbol{R}^{r\times n}$, $\boldsymbol{H}_2(k+1) \in \boldsymbol{R}^{r\times m}$ Meßmatrizen,

$\boldsymbol{v}(k+1) \in \boldsymbol{R}^r$ Vektor der Meßfehler.

Das durch die Gln. (1) bis (3) beschriebene System wird durch das Signalflußbild (Bild 1) dargestellt.

Zur Verfügung steht die Menge der Meßwerte

$$\left.\begin{array}{l} \boldsymbol{Y}_k = \{\boldsymbol{y}(1), \boldsymbol{y}(2), \ldots, \boldsymbol{y}(k)\}\,. \\ k = 1, 2, \ldots \end{array}\right\} \quad (4)$$

Aufgrund dieser Meßwerte sind die Zustände $\boldsymbol{x}_1(k)$ und $\boldsymbol{x}_2(k)$ der Teilsysteme zu schätzen. Um dieses Problem zu vereinfachen, wird vorausgesetzt, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Anfangszustände $\boldsymbol{x}_1(0)$ und $\boldsymbol{x}_2(0)$ auf irgendeine Weise bekannt sind. Außerdem wird folgendes angenommen:

$$E\{\boldsymbol{x}_1(0)\, \boldsymbol{x}_1^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}_1(0) \quad (5)$$

$$E\{\boldsymbol{x}_2(0)\, \boldsymbol{x}_2^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}_2(0) \quad (6)$$

$$E\{\boldsymbol{x}_1(0)\, \boldsymbol{x}_2^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}(0) \quad (7)$$

Die Prozesse

$$\{\boldsymbol{w}_1(k);\; k = 0, 1, 2, \ldots\} \quad (8)$$

$$\{\boldsymbol{w}_2(k);\; k = 0, 1, 2, \ldots\} \quad (9)$$

$$\{\boldsymbol{v}(k);\; k = 1, 2, \ldots\} \quad (10)$$

sind Gauß-Markov-Ketten mit dem Erwartungswert Null und den entsprechenden Kovarianzmatrizen $\boldsymbol{Q}_1(k)$, $\boldsymbol{Q}_2(k)$ und $\boldsymbol{R}(k+1)$. Dabei sind $\boldsymbol{Q}_1(k)$ und $\boldsymbol{Q}_2(k)$ positiv semidefinit, während $\boldsymbol{R}(k+1)$ positiv definit ist.

Weiterhin wird angenommen, daß die Prozesse (8) bis (10) miteinander unkorreliert sind, d. h.

$$E\{\boldsymbol{w}_1(k)\, \boldsymbol{w}_2^{\mathrm{T}}(j)\} = \boldsymbol{0} \quad (11)$$

$$E\{\boldsymbol{w}_1(k)\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(j)\} = \boldsymbol{0} \quad (12)$$

$$E\{\boldsymbol{w}_2(k)\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(j)\} = \boldsymbol{0} \quad (13)$$

für alle k und j.

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird angenommen, daß

$$E\{\boldsymbol{x}_1(k)\} = \boldsymbol{0} \quad (14)$$

$$E\{\boldsymbol{x}_2(k)\} = \boldsymbol{0} \quad (15)$$

und

$$\left.\begin{array}{l} E\{\boldsymbol{y}(k)\} = \boldsymbol{0} \\ k = 0, 1, 2, \ldots \end{array}\right\} \quad (16)$$

Falls (14) bis (16) nicht den realen Prozessen entsprechen, so kann man die normierten Vektoren

$\boldsymbol{x}_1'(k) = \boldsymbol{x}_1(k) - E\{\boldsymbol{x}_1(k)\}$; $\boldsymbol{x}_2'(k) = \boldsymbol{x}_2(k) - E\{\boldsymbol{x}_2(k)\}$ und $\boldsymbol{y}'(k+1) = \boldsymbol{y}(k+1) - E\{\boldsymbol{y}(k+1)\}$ betrachten. Damit haben die Voraussetzungen (14) bis (16) ihre allgemeine Gültigkeit.

Unter den genannten Voraussetzungen ist sehr einfach zu erkennen, daß die Prozesse

$$\{\boldsymbol{x}_1(k);\; k = 0, 1, 2, \ldots\} \quad (17)$$

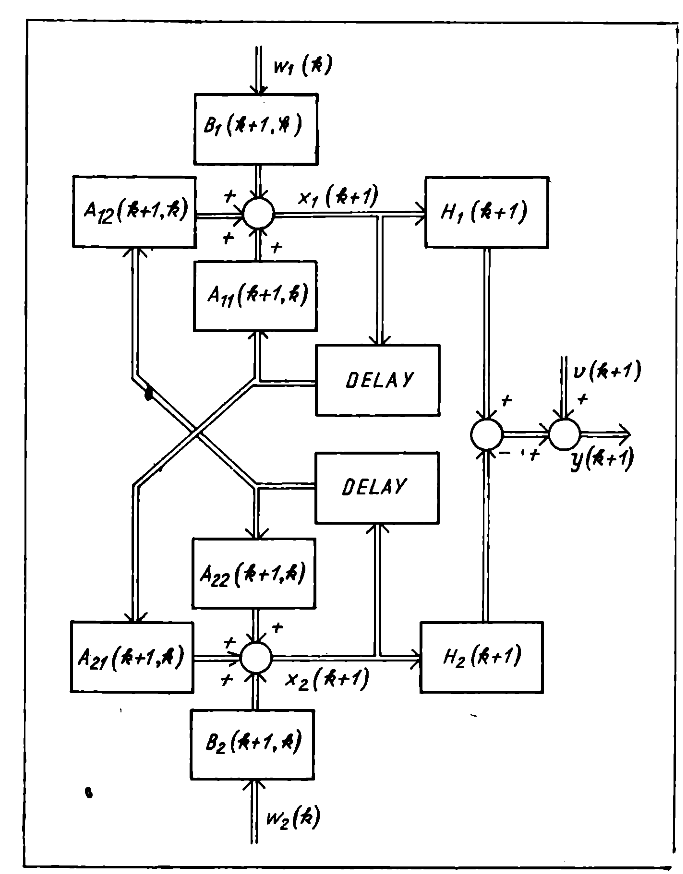
$$\{\boldsymbol{x}_2(k);\; k = 0, 1, 2, \ldots\} \quad (18)$$

$$\{\boldsymbol{y}(k+1);\; k = 0, 1, 2, \ldots\} \quad (19)$$

Gauß-Markov-Ketten mit dem Erwartungswert Null sind.

---

[1]) Mitteilung aus dem Staatlichen Forschungszentrum der SRV, Hanoi, Institut für Kybernetik und Rechentechnik; Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. *P. Vielhauer* gewidmet.



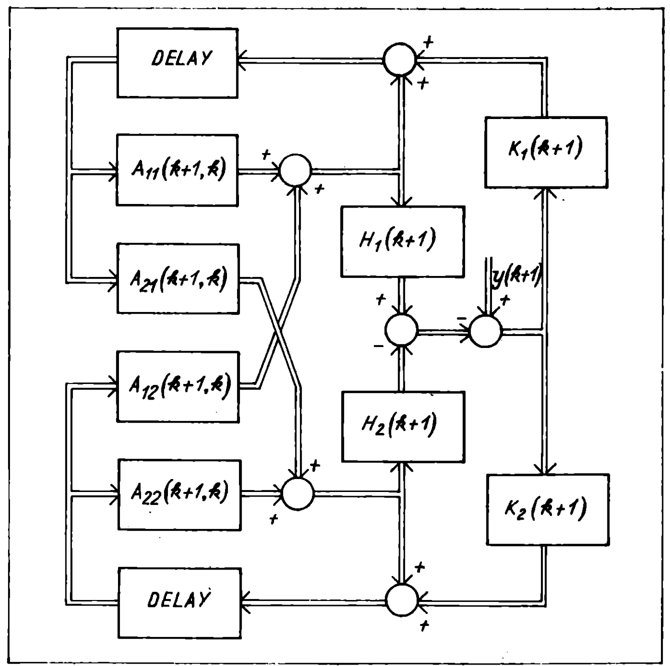


Bild 1
Signalflußbild für stochastische lineare Doppelsysteme

Bild 2
Signalflußbild des optimalen Filters für stochastische lineare Doppelsysteme

3. Optimale Schätzung der Systemzustände

Die Schätzung kann nach dem Kriterium des kleinsten Fehlerquadrates durchgeführt werden. Aufgrund des Satzes von *I. L. Doob* [3] ist die optimale Schätzung bei gegebener Menge der Meßwerte gleich den bedingten Erwartungswerten von $\boldsymbol{x}_1(k)$ und $\boldsymbol{x}_2(k)$ unter der Bedingung $\boldsymbol{Y}_k$. Bezeichnet man die Schätzung mit $\hat{\boldsymbol{x}}_1$ und $\hat{\boldsymbol{x}}_2$, bekommt man

$$\begin{aligned}\hat{\boldsymbol{x}}_1(k+1,k) &= E\{\boldsymbol{x}_1(k+1) \mid \boldsymbol{Y}_k\} = \\ &= E\{[\boldsymbol{A}_{11}(k+1,k)\,\boldsymbol{x}_1(k) + \boldsymbol{A}_{12}(k+1,k)\,\boldsymbol{x}_2(k) + \\ &\quad + \boldsymbol{B}_1(k+1,k)\,\boldsymbol{w}_1(k)] \mid \boldsymbol{Y}_k\} = \\ &= \boldsymbol{A}_{11}(k+1,k)\,\hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k) + \boldsymbol{A}_{12}(k+1,k)\,\hat{\boldsymbol{x}}_2(k,k)\,. \end{aligned} \tag{20}$$

Dabei sind

$$\hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k) = E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \boldsymbol{Y}_k\} \tag{21}$$

und

$$\hat{\boldsymbol{x}}_2(k,k) = E\{\boldsymbol{x}_2(k) \mid \boldsymbol{Y}_k\} \tag{22}$$

die Schätzungen von $\boldsymbol{x}_1(k)$ und $\boldsymbol{x}_2(k)$ bei Vorhandensein von $\boldsymbol{Y}_k$. Die Kovarianzmatrix des Schätzfehlers lautet:

$$\boldsymbol{P}_1(k+1,k) = E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k+1,k)\,\tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k+1,k)\}\,, \tag{23}$$

wobei

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k+1,k) = \boldsymbol{x}_1(k+1) - \hat{\boldsymbol{x}}_1(k+1,k) \tag{24}$$

ist. Kennzeichnet man ebenfalls

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_2(k+1,k) = \boldsymbol{x}_2(k+1) - \hat{\boldsymbol{x}}_2(k+1,k) \tag{25}$$

und berücksichtigt Gl. (1), so erhält man aus (23):

$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}_1(k+1,k) &= \boldsymbol{A}_{11}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}_1(k,k)\,\boldsymbol{A}_{11}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \\ &\quad + \boldsymbol{A}_{12}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}_2(k,k)\,\boldsymbol{A}_{12}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{A}_{11}(k+1,k) \times \\ &\quad \times \boldsymbol{P}(k,k)\,\boldsymbol{A}_{12}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{A}_{12}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k,k) \times \\ &\quad \times \boldsymbol{A}_{11}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{B}_1(k+1,k)\,\boldsymbol{Q}_1(k)\,\boldsymbol{B}_1^{\mathrm{T}}(k+1,k)\,. \end{aligned} \tag{26}$$

Dabei sind

$$\boldsymbol{P}_1(k,k) = E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k,k)\,\tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k,k) \mid \boldsymbol{Y}_k\} \tag{27}$$

$$\boldsymbol{P}_2(k,k) = E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_2(k,k)\,\tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k,k) \mid \boldsymbol{Y}_k\} \tag{28}$$

$$\boldsymbol{P}(k,k) = E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k,k)\,\tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k,k) \mid \boldsymbol{Y}_k\} \tag{29}$$

mit

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k,k) = \boldsymbol{x}_1(k) - \hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k) \tag{30}$$

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_2(k,k) = \boldsymbol{x}_2(k) - \hat{\boldsymbol{x}}_2(k,k)\,. \tag{31}$$

In analoger Weise bekommt man für das 2. System:

$$\hat{\boldsymbol{x}}_2(k+1,k) = \boldsymbol{A}_{21}(k+1,k)\,\hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k) + \boldsymbol{A}_{22}(k+1,k)\,\hat{\boldsymbol{x}}_2(k,k) \tag{32}$$

und

$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}_2(k+1,k) &= \boldsymbol{A}_{21}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}_1(k,k)\,\boldsymbol{A}_{21}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \\ &\quad + \boldsymbol{A}_{22}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}_2(k,k)\,\boldsymbol{A}_{22}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{A}_{21}(k+1,k) \times \\ &\quad \times \boldsymbol{P}(k,k)\,\boldsymbol{A}_{22}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{A}_{22}(k+1,k)\,\boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k,k) \times \\ &\quad \times \boldsymbol{A}_{21}^{\mathrm{T}}(k+1,k) + \boldsymbol{B}_2(k+1,k)\,\boldsymbol{Q}_2(k)\,\boldsymbol{B}_2^{\mathrm{T}}(k+1,k)\,. \end{aligned} \tag{33}$$

Nun sind $\hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k)$, $\hat{\boldsymbol{x}}_2(k,k)$, $\boldsymbol{P}_1(k,k)$, $\boldsymbol{P}_2(k,k)$ und $\boldsymbol{P}(k,k)$ zu bestimmen. Man kann für Gl. (21) schreiben:

$$\hat{\boldsymbol{x}}_1(k,k) = E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \boldsymbol{y}(k), \boldsymbol{Y}_{k-1}\}\,. \tag{34}$$

Wie in [2] bewiesen wurde, gilt nach den gemachten Voraussetzungen:

$$\begin{aligned}E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \boldsymbol{y}(k), \boldsymbol{Y}_{k-1}\} &= E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \boldsymbol{Y}_{k-1}\} + \\ &\quad + E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \tilde{\boldsymbol{y}}(k,k-1)\}\end{aligned} \tag{35}$$

mit

$$\tilde{\boldsymbol{y}}(k,k-1) = \boldsymbol{y}(k) - \hat{\boldsymbol{y}}(k,k-1)\,. \tag{36}$$

Weil $\{\boldsymbol{x}_1(k);\ k = 0, 1, 2, \ldots\}$ und $\{\boldsymbol{y}(k+1);\ k = 0, 1, 2, \ldots\}$ bzw. $\{\tilde{\boldsymbol{y}}(k,k-1);\ k = 0, 1, 2, \ldots\}$ Gauß-Markov-Ketten sind, folgt aus den Eigenschaften der normalen Verteilung:

$$\begin{aligned}E[\boldsymbol{x}_1(k) \mid \tilde{\boldsymbol{y}}(k,k-1)\} &= \boldsymbol{P}_{\mathrm{x_1(k)\tilde{y}(k,k-1)}} \cdot \boldsymbol{P}^{-1}_{\mathrm{\tilde{y}(k,k-1)\,\tilde{y}(k,k-1)}} \times \\ &\quad \times \tilde{\boldsymbol{Y}}(k,k-1)\end{aligned} \tag{37}$$

Andererseits ergibt sich

$$\tilde{\boldsymbol{y}}(k, k-1) = \boldsymbol{y}(k) - E\{\boldsymbol{y}(k) \mid \boldsymbol{Y}_{k-1}\} =$$
$$= \boldsymbol{y}(k) - \boldsymbol{H}_1(k) E\{\boldsymbol{x}_1(k) \mid \boldsymbol{Y}_{k-1}\} + \boldsymbol{H}_2(k) E\{\boldsymbol{x}_2(k) \mid \boldsymbol{Y}_{k-1}\} =$$
$$= \boldsymbol{y}(k) - \boldsymbol{H}_1(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) + \boldsymbol{H}_2(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)\,. \tag{38}$$

Läßt sich

$$\boldsymbol{K}_1(k) = \boldsymbol{P}_{x_1(k)\tilde{y}(k,k-1)} \boldsymbol{P}^{-1}_{\tilde{y}(k,k-1)y(k,k-1)} \tag{39}$$

mit

$$\boldsymbol{P}_{x_1(k)\,\tilde{y}(k,k-1)} = E\{\boldsymbol{x}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} \tag{40}$$

und

$$\boldsymbol{P}_{\tilde{y}(k,k-1)\tilde{y}(k,k-1)} = E\{\tilde{\boldsymbol{y}}(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} \tag{41}$$

kennzeichnen, so folgt aus Gl. (34) mit Rücksichtnahme auf Gln. (35), (38) und (39)

$$\hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k) = \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) + \boldsymbol{K}_1(k)\, [\boldsymbol{y}(k) - \boldsymbol{H}_1(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) +$$
$$+ \boldsymbol{H}_2(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)]\,. \tag{42}$$

Zur Bestimmung von $\boldsymbol{K}_1(k)$ berechnet man zuerst $\boldsymbol{P}_{x_1(k)\tilde{y}(k,k-1)}$ nach Gl. (40). Setzt man Gl. (38) in Gl. (40) ein und substituiert $\boldsymbol{y}(k)$ durch Gl. (3), so ergibt sich

$$\boldsymbol{P}_{x_1(k)\tilde{y}(k,k-1)} = E\{\boldsymbol{x}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} =$$
$$= E\{[\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) + \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)]\, \tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} =$$
$$= E\{[\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) + \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)]\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]^{\mathrm{T}}\} =$$
$$= E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) + E\{\hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) \times$$
$$\times \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) - E\{\hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) \times$$
$$\times \tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) + E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(k)\} +$$
$$+ E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(k)\} = \boldsymbol{P}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{P}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k)\,. \tag{43}$$

Weiter gilt

$$\boldsymbol{P}_{\tilde{y}(k,k-1)\tilde{y}(k,k-1)} = E\{\tilde{\boldsymbol{y}}(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{y}}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} =$$
$$= E\{[\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) - \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)] \times$$
$$\times [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) - \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]^{\mathrm{T}}\} =$$
$$= \boldsymbol{H}_1(k)\, E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) +$$
$$+ \boldsymbol{H}_2(k)\, E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{H}_1(k)\, E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\}\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) +$$
$$+ E\{[\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) - \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)]\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(k)\} +$$
$$+ E\{v(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) - \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)]^{\mathrm{T}}\} +$$
$$+ E\{\boldsymbol{v}(k)\, \boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}(k)\} = \boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) +$$
$$+ \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}_2(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) + \boldsymbol{R}(k)\,. \tag{44}$$

Durch Kombination der Resultate der Gln. (43) und (44) in Gl. (39) erhält man:

$$\boldsymbol{K}_1(k) = [\boldsymbol{P}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{P}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k)] \times$$
$$\times [\boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) + \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}_2(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) +$$
$$+ \boldsymbol{R}(k)]^{-1}\,. \tag{45}$$

Mit Gl. (42) folgt:

$$\boldsymbol{x}_1(k) - \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k) = \boldsymbol{x}_1(k) - \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{K}_1(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]$$

oder

$$\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k) = \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) - \boldsymbol{K}_1(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]\,. \tag{46}$$

Die Kovarianzmatrix des Schätzfehlers lautet:

$$\boldsymbol{P}_1(k, k) = E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k)\} =$$
$$= E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} -$$
$$- E\{\tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]^{\mathrm{T}}\}\, \boldsymbol{K}_1^{\mathrm{T}}(k) -$$
$$- \boldsymbol{K}_1(k)\, E\{[\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1^{\mathrm{T}}(k, k-1)\} +$$
$$+ \boldsymbol{K}_1(k)\, E\{[\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)] \cdot [\boldsymbol{H}_1(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \tilde{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{v}(k)]^{\mathrm{T}}\}\, \boldsymbol{K}_1^{\mathrm{T}}(k)\,. \tag{47}$$

Nach einigen Umformungen erhält man

$$\boldsymbol{P}_1(k, k) = \boldsymbol{P}_1(k, k-1) - \boldsymbol{K}_1(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}_1(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k, k-1)]\,. \tag{48}$$

Mit den gleichen Rechnungen ergibt sich für das 2. Teilsystem

$$\hat{\boldsymbol{x}}_2(k, k) = \hat{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1) + \boldsymbol{K}_2(k)\, [\boldsymbol{y}(k) -$$
$$- \boldsymbol{H}_1(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_1(k, k-1) + \boldsymbol{H}_2(k)\, \hat{\boldsymbol{x}}_2(k, k-1)] \tag{49}$$

und

$$\boldsymbol{K}_2(k) = [\boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{P}_2(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k)] \times$$
$$\times [\boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}_1(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) + \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}_2(k, k-1) \times$$
$$\times \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_2^{\mathrm{T}}(k) - \boldsymbol{H}_2(k) \times$$
$$\times \boldsymbol{P}^{\mathrm{T}}(k, k-1)\, \boldsymbol{H}_1^{\mathrm{T}}(k) + \boldsymbol{R}(k)]^{-1}\,; \tag{50}$$

sowie

$$\boldsymbol{P}_2(k, k) = \boldsymbol{P}_2(k, k-1) - \boldsymbol{K}_2(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}_2(k, k-1)]\,. \tag{51}$$

Dabei lautet $\boldsymbol{P}(k, k)$ in den Gln. (45, (48), (50) und (51) folgendermaßen:

$$\boldsymbol{P}(k, k) = \boldsymbol{P}(k, k-1) - \boldsymbol{K}_1(k)\, [\boldsymbol{H}_1(k)\, \boldsymbol{P}(k, k-1) -$$
$$- \boldsymbol{H}_2(k)\, \boldsymbol{P}_2(k, k-1)] \tag{52}$$

Weil für $k = 0$ kein Meßwert vorhanden ist, gilt folgendes:

$$\left.\begin{aligned}
\hat{\boldsymbol{x}}_1(0, 0) &= E\{\boldsymbol{x}_1(0)\} = \bar{\boldsymbol{x}}_1(0)\\
\hat{\boldsymbol{x}}_2(0, 0) &= E\{\boldsymbol{x}_2(0)\} = \bar{\boldsymbol{x}}_2(0)\\
\boldsymbol{P}_1(0, 0) &= E\{\boldsymbol{x}_1(0)\, \boldsymbol{x}_1^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}_1(0)\\
\boldsymbol{P}_2(0, 0) &= E\{\boldsymbol{x}_2(0)\, \boldsymbol{x}_2^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}_2(0)\\
\boldsymbol{P}(0, 0) &= E\{\boldsymbol{x}_1(0)\, \boldsymbol{x}_2^{\mathrm{T}}(0)\} = \boldsymbol{P}(0)
\end{aligned}\right\} \tag{53}$$

Damit läßt sich, wie man sieht, das Schätzproblem rekursiv lösen. Bild 2 zeigt das Signalflußbild des optimalen Filters für das stochastische dynamische Doppelsystem.

Schlußfolgerungen und Bemerkungen

Wie man erkennt, reduziert sich das Filter (Bild 2) auf das originale Kalman-Filter, wenn ein Teilsystem verschwindet. Die vorliegende Rechnung kann auf Systeme der Form

$$\left.\begin{aligned}
\boldsymbol{x}_1(k+1) &= \sum_{i=1}^{s} \boldsymbol{A}_{1i}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_i(k) + \boldsymbol{B}_1(k+1, k)\, \boldsymbol{w}_1(k)\\
\boldsymbol{x}_2(k+1) &= \sum_{i=1}^{s} \boldsymbol{A}_{2i}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_i(k) + \boldsymbol{B}_2(k+1, k)\, \boldsymbol{w}_2(k)\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\boldsymbol{x}_s(k+1) &= \sum_{i=1}^{s} \boldsymbol{A}_{si}(k+1, k)\, \boldsymbol{x}_i(k) + \boldsymbol{B}_s(k+1, k)\, \boldsymbol{w}_s(k)
\end{aligned}\right\} \tag{54}$$

mit der Beobachtungsgleichung

$$\boldsymbol{y}(k+1)=\sum_{i=1}^{s}\boldsymbol{H}_i(k+1)\,\boldsymbol{x}_i(k+1)+\boldsymbol{v}(k+1) \qquad (55)$$

verallgemeinert werden.

Die Darstellung des Systems in dieser Form bzw. in der Form von Gln. (1) und (2) hat keine große theoretische Bedeutung. Aber für die praktische Lösung des Problems (z. B. mit Hilfe eines Rechners) bringt es einen erheblichen Vorteil, von dem man sich sofort überzeugen kann. Offenbar kann die Gl. (54) auf die Form

$$\boldsymbol{x}(k+1)=\boldsymbol{A}(k+1,k)\,\boldsymbol{x}(k)+\boldsymbol{B}(k+1,k)\,\boldsymbol{w}(k) \qquad (56)$$

zurückgeführt werden. Darin bedeuten:

$$\boldsymbol{x}(k)=[\boldsymbol{x}_1^T(k);\boldsymbol{x}_2^T(k);\dots;\boldsymbol{x}_s^T(k)]^T \qquad (57)$$

und

$$\boldsymbol{A}(k+1,k)=\begin{bmatrix}\boldsymbol{A}_{11}(k+1,k)\,\boldsymbol{A}_{12}(k+1,k)\dots\boldsymbol{A}_{1s}(k+1,k)\\ \boldsymbol{A}_{21}(k+1,k)\,\boldsymbol{A}_{22}(k+1,k)\dots\boldsymbol{A}_{2s}(k+1,k)\\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\\ \boldsymbol{A}_{s1}(k+1,k)\,\boldsymbol{A}_{s2}(k+1,k)\dots\boldsymbol{A}_{ss}(k+1,k)\end{bmatrix}. \qquad (58)$$

Wird z. B. angenommen, daß alle $A_{ji}(k+1,k)$, $(j=1,2,\dots,s;$ $i=1,2,\dots,s)$ $n\times n$ — dimensionale Matrizen sind, dann muß man bei der Berechnung des Filter-Gains nach Gl. (56) die Inversion einer $n\cdot s\times n\cdot s$ — dimensionalen Matrix durchführen. Falls man die Gl. (54) verwendet, braucht man nur s-mal die $n\times n$ — dimensionale Matrix zu invertieren. Das letztere ist sicherlich für die praktische Anwendung sehr vorteilhaft.

Literatur

[1] *Jazwinski, A. H.:* Stochastic processes and filtering theory. New York: Academic Press 1970.

[2] *Meditch, J. S.:* Stochastic optimal linear estimation and control. New York San Francisco, London, Sydney, Toronto, Mexico, Panama: Mc Graw-Hill Book Company 1969.

[3] *Doob, I. L.:* Stochastic processes. New York: John Willey & Sons. Inc. 1953.

msr 6911

Dipl.-Ing. *J. Syhre* und Dipl.-Ing. *V. Hammer*, Dresden[1])

Verrechnung vorzeichenbehafteter Dualzahlen

IA 1.1.0.; 4.5.

0. Einleitung

Sowohl die Automatisierung industrieller Prozesse als auch die digitale Rechentechnik erfordern häufig die Verknüpfung von Zahlen durch Addition bzw. Subtraktion entsprechend folgender Gleichung:

$$y=(\pm a)\pm(\pm b) \qquad (1)$$

$\{a,b\}\in\{\text{natürliche Zahlen}\}$

$\{y\}\in\{\text{ganze Zahlen}\}$.

Die Operanden y, a, b stellen Zahlen eines bestimmten Zahlensystems dar. Der Wert einer solchen M-stelligen Zahl z kann als Summe von Produkten geschrieben werden:

$$z=\sum_{i=0}^{M-1} z_i\cdot B^i \qquad (2)$$

$$0\leqq z_i<B\,.$$

B Basis des Zahlensystems

In diesem Beitrag soll gezeigt werden, wie die in Gl. (1) enthaltenen Operationen im Dualsystem mit Hilfe der $(B-1)$-Komplementdarstellung auf der Grundlage der Addition günstig realisiert werden können.

1. Darstellung vorzeichenbehafteter Zahlen

Vorzeichenbehaftete Zahlen können auf zwei verschiedene Arten dargestellt werden:

— Darstellung nach Vorzeichen und Betrag

— Komplementdarstellung.

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Elektrische Automatisierungstechnik.

1.1. *Darstellung nach Vorzeichen und Betrag*

Bei dieser Darstellung wird das Vorzeichen getrennt dargestellt und ausgewertet. Die Verrechnung zweier Zahlen erfolgt entsprechend dem Programmablaufplan nach Bild 1 [1]. Für die gerätemäßige Realisierung der Verrechnung zweier Zahlen sind somit folgende Hauptbaugruppen erforderlich:

— Addierwerk

— Subtrahierwerk

— Vergleicher für die Operation $|A|>|B|$.

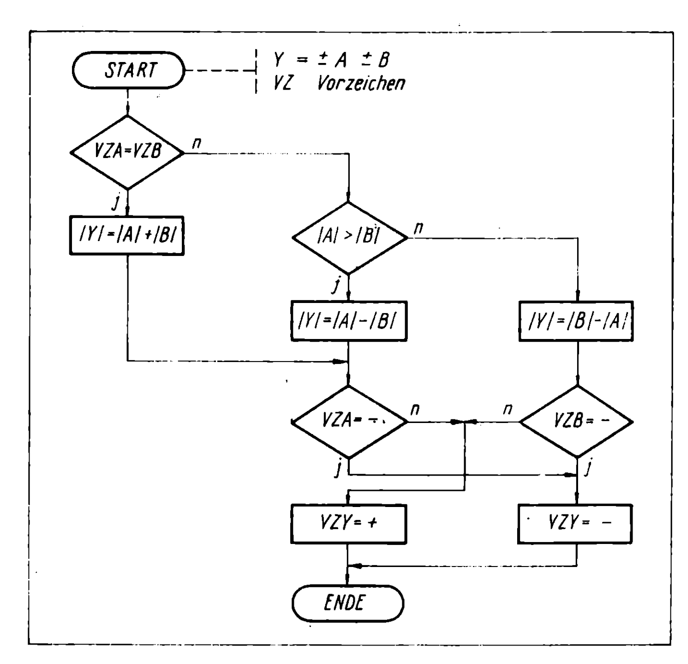


Bild 1. Verrechnung zweier Zahlen mit Addier- und Subtrahierwerk

1.2. *Komplementdarstellung*

Durch die Komplementdarstellung ist es möglich, mit nur einem Rechenwerk (Addier- oder Subtrahierwerk) auszukommen, indem die Addition auf eine Subtraktion oder die Subtraktion auf eine Addition zurückgeführt wird. Im folgenden wird vorausgesetzt, daß nur ein Addierwerk verwendet werden soll. Gleichung (1) erhält dann folgende Form:

$$y = \pm a + (\pm b)\,, \tag{3}$$

wobei das neue Vorzeichen von b durch die Auswertung des Operationszeichens und des Vorzeichens des Operanden b aus Gl. (1) ermittelt wird.

Negative Operanden werden durch ihr Komplement dargestellt. Durch die Komplementbildung erfolgt eine Transformation der Zahl in einen Bereich des Zahlenstrahls, in dem keine positiven Zahlen existieren. Nach [5] gilt die folgende Definition.

Definition 1:

Das Komplement x' einer positiven Zahl x ist die Differenz zwischen x und einer positiven Hilfszahl k, die größer als x ist.

$$x' = k - x\,. \tag{4}$$

Diese Komplementbildung ist jedoch nur sinnvoll, wenn sie einfach und ohne Subtraktion möglich ist. k ist vorzugsweise eine geradzahlige Potenz der Basis des verwendeten Zahlensystems. Praktisch werden dabei das B- und das $(B-1)$-Komplement angewendet. Im Dezimalsystem wird das B-Komplement als 10er- und das $(B-1)$-Komplement als 9er Komplement bezeichnet. Im Dualsystem existieren entsprechend das 2er und das 1er-Komplement.

Das B-Komplement einer M-stelligen Zahl x wird durch die Vorschrift

$$x' = B^M - x \tag{5}$$

gebildet.

Beispiel 1: B-Komplement der Dezimalzahl 193

$$M = 3\,,\quad x' = 10^3 - 193 = 807$$

Beispiel 2: B-Komplement der Dualzahl $(1011)_2$

$$M = 4,\quad x' = (10000)_2 - (1011)_2 = (0101)_2\,.$$

Das $(B-1)$-Komplement einer M-stelligen Zahl x wird durch die Vorschrift

$$x' = (B^M - 1) - x \tag{6}$$

gebildet.

Beispiel 3: $(B-1)$-Komplement der Dezimalzahl 193

$$M = 3,\quad x' = 999 - 193 = 806$$

Beispiel 4: $(B-1)$-Komplement der Dualzahl $(1011)_2$

$$M = 3,\quad x' = (1111)_2 - (1011)_2 = (0100)_2\,.$$

Für die Bildung des $(B-1)$-Komplements im Dualsystem gilt, da $k = B^M - 1$ in allen Stellen eine 1 enthält und $x' = k - x$ ist, folgender Satz [3]:

Satz 1: Das $(B-1)$-Komplement x' der Dualzahl x wird durch die Negation sämtlicher Stellen von x erhalten.

Für die Bildung des B-Komplements im Dualsystem gilt:

Satz 2: Das B-Komplement x' der Dualzahl x wird durch die Negation sämtlicher Stellen von x bei nachträglicher Addition von 1 erhalten

Stehen M Stellen zur Betragsdarstellung einer Zahl x zur Verfügung, so können B^M unterschiedliche Zahlen dargestellt werden. Der Zahlenbereich, in dem neben den positiven Zahlen auch die Komplemente dieser Zahlen auftreten können, muß also $2 \cdot B^M$ verschiedene Zahlen enthalten. Damit muß eine $(M+1)$-te Stelle gefordert werden, die mindestens zwei Werte annehmen kann. Im Beispiel 3 wäre sonst nicht erkennbar, ob es sich bei der Ziffernfolge 806 um die Zahl 806 oder um das Komplement der Zahl 193 handelt.

Bei der Addition zweier vorzeichengleicher Zahlen ist eine Bereichsüberschreitung möglich, die wie folgt dargestellt werden kann:

- Hinzufügen einer weiteren Stelle $(M+2)$
- In Zahlensystemen mit $B \geqq 4$ durch Auswertung der Stelle $(M+1)$.

Bei Zahlensystemen mit $B > 2$ gilt für z_1 entsprechend Gl. (2) $0 \leqq z_1 < B$. Die damit möglichen Wertebelegungen für z_1 sind in nachfolgende Überlegungen sinnvoll einzubeziehen.

Für die folgenden Betrachtungen werden nachstehend genannte Einschränkungen vereinbart:

- Die Rechnung erfolgt im Dualsystem $(B = 2)$.
- Die Subtraktion wird auf eine Addition zurückgeführt.
- Aufgrund der einfacheren Berechnungsmöglichkeit wird mit dem $(B-1)$-Komplement gearbeitet.

2. Rechnen im (B – 1)-Komplement

Bei der Auswertung der Gl. (3) ergeben sich die folgenden vier Fälle:

$$\text{Fall 1}: y = (+a) + (+b) \tag{7}$$

$$\text{Fall 2}: y = (+a) + (-b) \tag{8}$$

$$\text{Fall 3}: y = (-a) + (+b) \tag{9}$$

$$\text{Fall 4}: y = (-a) + (-b)\,. \tag{10}$$

Für a und b sind dabei jeweils M-stellige Beträge zugelassen.

Die $(M+1)$-te Stelle ist für eine etwaige Bereichsüberschreitung vorgesehen; die $(M+2)$-te Stelle kennzeichnet, ob es sich um eine Zahl x oder um das Komplement x' einer Zahl x handelt. Es gilt also (Definition 2):

Die Zahlen $0 \ldots (B^{M+1} - 1)$ stellen positive Zahlen dar. Die Zahlen $B^{M+1} \ldots (B^{M+2} - 1)$ stellen Komplemente und somit Abbildungen negativer Zahlen dar.

Fall 1 [Gl. (7)]: $y = (+a) + (+b)$.

Laut Voraussetzung ergeben sich folgende Zahlenbereiche für $B = 2$:

$$0 \leqq a \leqq 2^M - 1\,,\qquad 0 \leqq b \leqq 2^M - 1$$

und somit $0 \leqq y \leqq 2^{M+1} - 2$.

Eine Komplementbildung ist nicht notwendig, eine Bereichsüberschreitung ist möglich, das Ergebnis ist stets positiv.

Beispiel 5: $y = (+7) + (+5)$

Berechnung im Dualsystem: $M = 3$

$$a = (00111)_2$$
$$b = (00101)_2$$
$$\begin{array}{ll} a + b & 00111 \\ & \underline{+00101} \\ & 01100 \quad y = (12)_{10} \end{array}$$

Fall 2 [Gl. (8)]: $y = (+a) + (-b)$

Bedingt durch das negative Vorzeichen des Operanden b ist dessen Komplementierung bei nachträglicher Richtigstellung der Gleichheit erforderlich.

$$y = \underbrace{+\,a + [(B^{M+2} - 1) - b]}_{y^*} - (B^{M+2} - 1) \tag{11}$$

$$y = y^* - (B^{M+2} - 1)\,. \tag{12}$$

Unter der Bedingung $a \geqq b$ ergeben sich für $B = 2$ folgende Zahlenbereiche:

$$0 \leqq a \leqq 2^M - 1\,,\qquad 0 \leqq b \leqq 2^M - 1 \quad \text{und somit}$$

$$2^{M+2} - 1 \leqq y^* \leqq 2^{M+2} + 2^M - 2\,. \tag{13}$$

Die nachträgliche Subtraktion entsprechend Gl. (12) ergibt:

$$0 \leqq y \leqq 2^M - 1 .$$

Diese Subtraktion kann, da kein Subtrahierwerk existiert, nur indirekt erfolgen. Nach Gl. (13) entsteht bei der Berechnung von y^* für $a > b$ ein Übertrag in der $(M + 3)$-ten Stelle, dessen Verlust der Subtraktion von 2^{M+2} entspricht. Eine nachträgliche Addition von 1 stellt das Ergebnis richtig.

Satz 3: Erscheint bei der Addition ein Endübertrag, so muß dieser Endübertrag zum Ergebnis addiert werden.

Gerätemäßig läßt sich dies durch die Rückführung des Übertrags der $(M + 2)$-ten Stelle auf die erste Stelle erreichen. Für $a = b$ ergibt sich $y^* = 2^{M+2} - 1$. Dieses Ergebnis entspricht dem Komplement der Zahl Null (Definition 2). Weitergehende Ausführungen zu diesem Problem sind in [3] zu finden. Die Berechnung von y ergibt sich in diesem Fall nach Satz 4.

Beispiel 6: $y = (+7) + (-5)$

Berechnung im Dualsystem: $M = 3$

$a = (00111)_2$

$b = (00101)_2 \; b' = (11010)_2$

$$\begin{array}{lrl} a + b' & 00111 & \\ & +\ 11010 & \\ & 1\,00001 & y^* \\ & \rightarrow +\quad 1 & \\ & 00010 & y = +(2)_{10} . \end{array}$$

Unter der Bedingung $a < b$ ergeben sich für $B = 2$ folgende Zahlenbereiche: $0 \leqq a < 2^M - 1$, $0 < b \leqq 2^M - 1$ und somit $2^{M+1} + 2^M \leqq y^* < 2^{M+2} - 1$, da $2^{M+2} - 2^M = 2^{M+1} + 2^M$. Nach Definition 2 handelt es sich daher bei y^* in diesem Fall um das Komplement einer Zahl. Die gesuchte Zahl erhält man

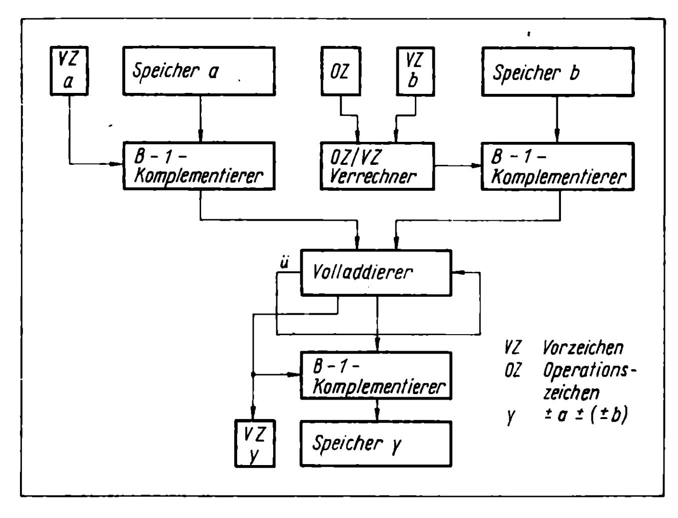


Bild 2. Prinzipschaltbild für die Addition/Subtraktion zweier Dualzahlen mit (B — 1)-Komplement

mit Hilfe von Gl. (12), dargestellt nach Vorzeichen und Betrag: $y = y^* - (2^{M+2} - 1) = -[(2^{M+2} - 1) - y^*]$, d. h. durch Komplementierung.

Satz 4: Erscheint im Ergebnis der Addition in der Stelle $M + 2$ eine 1, so handelt es sich um eine negative Zahl, deren Betrag durch Komplementierung zu erhalten ist.

Beispiel 7: $y = (+5) + (-7)$

Berechnung im Dualsystem: $M = 3$

Bild 3. Schaltungstechnische Realisierung der Prinzipschaltung nach Bild 2

$a = (00101)_2$

$b = (00111)_2\ b' = (11000)_2$

```
a + b':   00101
        + 11000
        -------
          11101   y*
```

Komplementierung, da $(M + 2)$-te Stelle gleich 1

$y = -(00010)_2 = -(2)_{10}$.

Fall 3 [Gl. (9)]: $y = (-a) + (+b)$

Da es sich bei diesem Fall um das Analogon zu Fall 2 handelt, gilt:

$$y = [(B^{M+2} - 1) - a] + b - (B^{M+2} - 1)$$
$$= b + [(B^{M+2} - 1) - a] - (B^{M+2} - 1)\,. \qquad (14)$$

Die Ergebnisse können direkt übernommen werden.

Fall 4 [Gl. (10)]: $y = (-a) + (-b)$

Die negativen Vorzeichen der beiden Operanden erfordern eine Komplementierung:

$$y = \underbrace{\underbrace{\underbrace{[(B^{M+2} - 1) - a]}_{a'} + \underbrace{[(B^{M+2} - 1) - b]}_{b'}}_{y^{**}} - (B^{M+2} - 1)}_{y^*} - (B^{M+2} - 1)\,. \qquad (15)$$

Für $B = 2$ ergeben sich folgende Zahlenbereiche:

$$0 \leqq a \leqq 2^M - 1, \qquad 0 \leqq b \leqq 2^M - 1$$

und nach der Komplementierung

$$2^{M+1} + 2^M \leqq a' \leqq 2^{M+2} - 1\,,$$
$$2^{M+1} + 2^M \leqq b' \leqq 2^{M+2} - 1\,.$$

Für $y^{**} = a' + b'$ ergibt sich damit $2^{M+2} + 2^{M+1} \leqq y^{**} \leqq \leqq 2^{M+3} - 2$. Es entsteht also in jedem Fall ein Übertrag in der $(M + 3)$-ten Stelle, dessen Verlust der Subtraktion von 2^{M+2} entspricht, so daß y^* durch Addition einer 1 entsteht (vgl. Fall 2). Für y^* gilt damit der Bereich $2^{M+1} + 1 \leqq \leqq y^* \leqq 2^{M+2} - 1$.

Nach Definition 2 handelt es sich also um die Komplementdarstellung einer Zahl. Die Darstellung nach Vorzeichen und Betrag ergibt sich durch

$$y = y^* - (2^{M+2} - 1) = -[(2^{M+2} - 1) - y^*]\,,$$

d. h. durch Komplementierung des Additionsergebnisses (vgl. Satz 4).

Beispiel 8: $y = (-5) + (-7)$

Berechnung im Dualsystem: $M = 3$

$a = -(00101)_2\ a' = (11010)_2$

$b = -(00111)_2\ b' = (11000)_2$

```
a' + b':    11010
          + 11000
          -------
     ┌--- 1 10010
     └--→ +     1
          -------
            10011   y*
```

Komplementierung, da $(M + 2)$-te Stelle gleich 1

$y = -(01100)_2 = -(12)_{10}$.

3. Schaltungstechnische Realisierung

Entsprechend der vorhergehenden Überlegungen kann die Verrechnung zweier vorzeichenbehafteter Dualzahlen unter Verwendung des $(B - 1)$-Komplements mit Hilfe der im Bild 2 dargestellten Prinzipschaltung durchgeführt werden.

Eine schaltungstechnische Realisierung mit TTL-Schaltkreisen zeigt Bild 3. Es sollen zwei Dualzahlen der Länge 6 addiert bzw. subtrahiert werden. Die beiden Operanden A und B werden entsprechend ihrer Darstellung nach Vorzeichen und Betrag in die Register A und B eingegeben. Bit 1 bis Bit 6 enthalten den Betrag, Bit 7 die Bereichsüberschreitung und Bit 8 das Vorzeichen ($+ \mathrel{\hat{=}} L$; $- \mathrel{\hat{=}} H$). Die Komplementierung (Negation) der Operanden erfolgt in Abhängigkeit vom Operandenvorzeichen und vom Operationszeichen mit Hilfe der 2 bit-Multiplexer. Das Ergebnis der Addition erscheint am Ausgang der Volladdierer, wobei negative Zahlen als Komplement dargestellt sind. Der Endübertrag wird zur niedrigsten Stelle addiert. Um die Darstellung nach Vorzeichen und Betrag zu erhalten, wird mit Hilfe des Ausgangskomplementierers in Abhängigkeit der Belegung von Bit 8 das Resultat der Addition negiert oder nicht negiert an die Ausgangsklemmen gegeben.

Literatur

[1] *Oelschlegel, G.:* Prinzipien der Verrechnung binär kodierter Dezimalzahlen. Elektrie 28 (1974) H. 7, S. 385–389.

[2] *Oelschlegel, G.:* Verrechnung binär kodierter Dezimalzahlen in Additions- bzw. Subtraktionsschaltungen. msr 18 (1975) H. 12, S. 422–426.

[3] *Klar, R.:* Digitale Rechenautomaten. Westberlin: Walter de Gruyter & Co. 1970.

[4] *Speiser, A.:* Digitale Rechenanlagen. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1965.

[5] *Wolfgarten, W.:* Binäre Schaltkreise. Heidelberg.: Dr. Alfred Hüthig-Verlag 1972.

[6] *Foth, G. G.:* Entwurf und Aufbau von Praktikumsversuchseinheiten für das Vertiefungspraktikum. Diplomarbeit 556/77, TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, 1977.

msr 0990

Dipl.-Ing. *K. Kieper* und Dipl.-Ing. *H. Peinecke*, Berlin[1])

Tendenzen der Informationsgewinnung und -ausgabe (Teil II)

IA 4.2.; 6.1.

2. Tendenzen der Informationsausgabe

2.1. Allgemeine Entwicklung

Anzeige- und Registriergeräte sind konstruktiv und technologisch ausgereifte, preiswerte Geräte. Ihr äußeres Gesicht hat sich jahrzehntelang kaum verändert. Eine einschneidende Veränderung wurde in den 60er Jahren mit der Entwicklung von Prozeßregelsystemen ausgelöst, für die spezielle Anzeige- und Registriergeräte gefordert wurden. Dafür wurden neue Wege der Informationsdarstellung beschritten. Die Skalen wurden von der waagerechten in die senkrechte Lage gebracht und die Sollwerte der Meßgrößen in die Skalenmitte verlegt, d. h., es wurde die Regelabweichung angezeigt. Die Breite der Geräte verringerte sich. Neben der dadurch erreichten ersten Informationsverarbeitung konnten durch die „dicht-an-dicht-Bauweise" durchgehende Sollwertlinien (Nulltrend, Scan-Line) gebildet werden, die dem Bedienungspersonal eine schnelle Überwachung vieler Meßstellen ermöglichten.

Weitere technische Impulse kamen von der Labormeßtechnik, bei der im allgemeinen höhere Anforderungen an die Anzeige- und Registriergeräte bezüglich Genauigkeit, Informationsver-

[1]) Teil I erschien im Heft 4/1980.

dichtung und Einstellzeit gestellt werden als bei der Betriebsmeßtechnik, für die die Geräte unbedingt langzeitstabil arbeiten müssen. Außerdem wird für komfortablere Laborgeräte ein höherer Preis akzeptiert.

2.2. *Einsatz mikroelektronischer Bausteine in Anzeige- und Registriergeräten*

Mitte der sechziger Jahre kamen erste digitale Anzeigegeräte für Laborzwecke (sog. Digital-Multimeter) auf den Markt, die in konventioneller Technik hergestellt wurden und dementsprechend teuer waren. Unter Verwendung integrierter Schaltkreise wurden ab 1970 auch Digitalanzeigegeräte mit den Frontabmessungen 96 mm × 36 mm für die Anzeige von Betriebsmeßgrößen angeboten. Diese Ausführungen wurden bis heute ständig verbessert und verbilligt. Mit zunehmendem Integrationsgrad je Chip reduzierte sich von Ausführung zu Ausführung die Anzahl der erforderlichen Bauelemente eines Digitalanzeigegerätes. Damit eroberte sich die digitale Anzeige einen festen Platz in der Betriebsmeßtechnik, d. h. auf der Meßwarte bzw. auf dem Wartenpult. Weitere Verbesserungen folgten in kurzen Zeitabständen: Einsatz von Vorverstärkern, Linearisierungsbausteinen, Kodeumsetzern, Impulsgebern usw., alles mit LSI-Technik ausgeführt. Mit den Möglichkeiten, preiswerte, kundenspezifische Schaltkreise zu entwickeln und einzusetzen, stieg der Anteil vollelektronischer Informationsausgabegeräte stark an. Neue Geräte wurden angeboten, bisherige wurden kleiner, preiswerter, zuverlässiger. Der Wartungsaufwand reduzierte sich wesentlich, da mit Lebensdauererwartungen von 10 und mehr Jahren (MTBF-Zeiten von 30 Jahren für einzelne Bauelemente [22]) zu rechnen ist. Weitere neue Geräte sind: meßwerklose analoge Anzeigegeräte, Balkenanzeigeräte, Kurvensichtstationen. Die beiden letztgenannten basieren auf der Bildschirmtechnik in Verbindung mit Mikroprozessoren, zunächst nur eingesetzt in Großwarten mit Zentralrechnern [23] und [24]. Es ist jedoch abzuschätzen, daß sich die Balkenanzeigegeräte demnächst auch in mittleren Anlagen ohne Zentralrechner behaupten werden (z. B. Dataskope [25]). Die Unterschiede zwischen der konventionellen Informationsausgabe und der rechnergeführten Informationsdarstellung werden langsam verwischen, da auch die konventionellen Anzeige- und Registriergeräte ständig „intelligenter" werden, d. h. mit Hilfe mikroelektronischer Bauelemente eine zunehmende Informationsverarbeitung durchführen.

2.3. *Schalttafel-Anzeigegeräte*

2.3.1. Allgemeine Abgrenzung zwischen analogen und digitalen Anzeigegeräten

Eine alternative Entscheidung für die analoge oder die digitale Meßwertdarstellung ist weder möglich noch zweckmäßig. Jede Darstellungsart hat ihre Vor- und Nachteile. Ein richtiger, technisch und ökonomisch begründeter Einsatz bringt aber Vorteile. So können z. B. bei digitalen Anzeigegeräten kleine und bei analogen Anzeigegeräten große Meßwertveränderungen besser erkannt werden. Die Ablesung beim digitalen sowie beim quasianalogen Anzeigegerät ist parallaxenfrei. Der Gesamtfehler des geschlossenen Meßstromkreises unterscheidet sich nicht erheblich, obgleich der Zusatzfehler beim digitalen Anzeigegerät wesentlich geringer ist als der der analogen Anzeigegeräte, da in beiden Fällen bislang noch die gleichen mit großem Fehler behafteten Meßfühler verwendet werden. Nach maßgeblichen Schätzungen überwiegen aber trotz der fallenden Preise für digitale Anzeigegeräte immer noch die analogen Anzeigegeräte mit galvanometrischem Meßwerk (20000 Digitalanzeigegeräte zu 2 Mill. Analoganzeigegeräten [26] und [27]). Zukünftig wird sich dieses Verhältnis sicherlich ändern, aber z. Z. dienen die Digitalanzeigegeräte vorwiegend dazu, die mit dem bisher vorhandenen Gerätesortiment qualitativ nicht realisierbaren Forderungen zu lösen. Batteriegespeiste digitale Anzeigegeräte sind inzwischen ebenso netzunabhängig wie galvanometrische Anzeigegeräte [29]. Auch ex-geschützte Digitalanzeigegeräte mit eigensicherem Meßkreis für den Einsatz vor Ort sind bereits lieferbar [28]. Weitere Abgrenzungen bzw. Übersichten zwischen den analogen und digitalen Verfahren sind in [31] bis [34] angegeben. Als Schlußfolgerungen sind zu ziehen:

- Die Produktionshöhe der bisher angebotenen analogen Anzeigegeräte mit Meßwerken wird etwa konstant bleiben.
- Der benötigte Zuwachs an Anzeigegeräten wird durch meßwerklose analoge und digitale Anzeigegeräte ausgeglichen. Mit der Preisdegression für hochintegrierte Bausteine wird die Anzahl dieser Gerätegruppen stark wachsen.

2.3.2. Analoge Schalttafel-Anzeigegeräte

2.3.2.1. Galvanometrische Anzeigegeräte

Trotz der wachsenden Bedeutung der digitalen Schalttafelanzeigegeräte haben galvanometrische Anzeigegeräte weiterhin ihre Stellung auf dem Markt behauptet. So wurde z. B. in England ein neues Werk ausschließlich für die Produktion galvanometrischer Anzeigegeräte in Betrieb genommen [35]. Auch zeigt das Angebot aller führenden Firmen keine Reduzierung gegenüber früheren Jahren [36].

Folgender Trend ist abzuleiten:

- Verringerung der Gehäuseabmessungen zu schmalen Geräten, die waagerecht und senkrecht dicht an dicht gruppierbar sind, Vorzugsabmessungen: 96 mm × 24 mm, 96 mm × × 36 mm, 144 mm × 36 mm.
- Lieferung mit Blende für 19"-Einschubtechnik.
- Für einfache Anzeigegeräte in Kleinbetrieben ohne zentrale Warte wird das galvanometrische Meßwerk weiterhin unentbehrlich bleiben (gute Störspannungsunterdrückung, niedrigerer Preis). Das trifft sowohl für die Meßgröße Temperatur als auch ganz allgemein für elektrische Meßgrößen zu.
- Die Verwendung eines Einheitsmeßwerkes in Verbindung mit Vorverstärker und Anpassungsbausteinen für Thermoelemente, Widerstandsthermometer- und Widerstandsferngeberanschluß sowie für elektrische Größen [37] wird für moderne Warten Bedeutung gewinnen, da in größeren Anlagen die Vorteile rationeller Lagerhaltung und Einsparung des Leitungsabgleiches den höheren Preis rechtfertigen.

2.3.2.2. Meßwerklose Verfahren zur Anzeige analoger Werte

Um die Zuverlässigkeit der analogen Anzeige zu erhöhen und den Fertigungsaufwand zu verringern, suchte man nach Verfahren, die analogen Meßwerte in üblicher Darstellung meßwerklos anzuzeigen. Dazu wurde die Skala in eine von der gewünschten Fehlerklasse abhängige Anzahl von Punkten aufgeteilt (quantisiert). Die erforderliche Punktzahl ergibt sich aus der geforderten Fehlerklasse. Das analoge Signal wird damit in ein Mehrpunktsignal umgewandelt. Jeder Punkt ist elektronisch abzubilden und anzusteuern. Während man anfangs nur wenige Punkte (10 bis 15) mit Leuchtdioden abbilden konnte, kamen in den letzten Jahren Verfahren auf, die auch Auflösungen bis zu 0,5% ermöglichten (d. h. 200 Punkte).

In [38] bis [40] sind diese Verfahren beschrieben. Zwei Verfahren kristallisieren sich danach heraus:

- Anzeige mit einer Spezial-Gasentladungsröhre (Plasma-Display oder Burrough-Display)

  Ausgehend von den Nixie-Gasentladungsröhren wurde in Verbindung mit der Dickschichttechnik (Siebdruckverfahren)

und dem Selfscan-Prinzip (Selbstabtastung) eine Anzeigeröhre entwickelt, die Auflösungen von 1% und 0,5% ermöglicht. Durch die zur Anwendung kommende Siebdrucktechnik ergeben sich nur geringe Mehrkosten bei der Herstellung einer Doppel-Anzeigeröhre in Form von zwei parallelen Leuchtbalken für Istwert- und Sollwertanzeige bzw. Grenzwertanzeige. Es sind Linear- und Kreisbogenskalen möglich. Bei einer Quantisierung von 100 bzw. 200 Punkten erscheint der Leuchtbalken als kontinuierlich. Durch die Wahl des Abtastzyklus bzw. der Taktfrequenz (etwa 80 Hz) zur Ansteuerung der einzelnen Katoden und durch das Speicherverhalten der Glimmentladung ist eine flimmerfreie Anzeige gewährleistet. Weitere technische Einzelheiten und Vergleiche zu anderen Anzeigetechniken sind in [26] enthalten.

— Anzeige mit Leuchtdioden (LED)

Die Darstellung der einzelnen Punkte der Meßwertskale erfolgt mit punkt- oder strichförmigen Leuchtdioden, die einzeln angesteuert werden müssen [41] bis [45]. Die Diodenzeile wird entweder komplett als Zeile hergestellt oder aus einzelnen Dioden zusammengesetzt. Die Quantisierung des analogen Meßwertes wird mit entsprechenden hochintegrierten Schaltkreisen für eine Gruppe von Dioden realisiert. Für die gesamte Skala ist dann eine entsprechende Anzahl von Ansteuerbausteinen hintereinander zu schalten. Aus der Art der Ansteuerung ergeben sich zwei verschiedene Skalenbilder

a) Leuchtbandanzeige

Hierbei werden alle Punkte von Null bis zum entsprechenden Analogwert angesteuert, so daß ein leuchtendes Band entsteht. Zur Ansteuerung werden Bausteine wie UAA 180 oder TDA 1069 verwendet. Diese psychologisch günstig einzuschätzende Anzeige erfordert jedoch einen höheren Leistungsbedarf (etwa 10 mA je LED) [46] bis [48].

b) Leuchtpunktanzeige

Durch Verwendung entsprechender Ansteuerbausteine (z. B. UAA 170 oder TDA 1069) wird nur die dem analogen Wert entsprechende Leuchtdiode angesteuert. Damit ergibt sich ein geringer, konstanter Leistungsbedarf, der nur durch die Ansteuerung des einen Leuchtpunktes bedingt ist [49] und [50].

2.3.3. Digitale Schalttafel-Anzeigengeräte

Digitale Schalttafel-Anzeigegeräte haben Preise und Abmessungen erreicht, die in der Größenordnung üblicher analoger Anzeigegeräte bzw. darunter liegen. Die wichtigsten Bausteine für ein digitales Schalttafel-Anzeigengerät sind der Anzeige- und der A/D-Umsetzer-Baustein.

— Anzeigebaustein (Ziffern-Display)

Bei der opto-elektronischen Informationsausgabe existieren die verschiedensten Verfahren für unterschiedliche Anwendungen [51] bis [53]. Während die Flüssigkristallanzeige erst jetzt steigende Anwendung findet [54], sind LED-Bausteine, Gasentladungsanzeigen (Plasma-Display) und Fluoreszenzanzeigen (Kaltkatodenröhre, Nixie-Röhre) weit verbreitet [55]. In Zukunft könnte aber auch die Flüssigkristall-Anzeige weiter an Bedeutung gewinnen, da ein neues Verfahren mit fluoreszenzaktivierten Flüssigkristallen (FLAD) entwickelt wurde [56] und [57]. Dieses Verfahren verbindet die Vorteile von aktiven (hohe Leuchtdichte) und passiven (geringe Leistungsaufnahme) Anzeigebausteinen. Durch die Fluoreszenzwirkung erfolgt eine automatische Anpassung der Helligkeit der Anzeige an die Helligkeit der Umgebung.

— A/D-Umsetzer

Er stellt den zentralen Teil des digitalen Schalttafel-Anzeigegerätes dar.

— Für die Ansteuerung der Anzeigebausteine werden Treiberstufen und Umsetzer vom BCD- in den 7-Segment-Kode sowie Multiplex-Ansteuerbausteine benötigt, die ebenfalls in LSI-Technik angeboten werden. Mit zunehmendem Integrationsgrad werden immer mehr Funktionen in einem Baustein zusammengefaßt, so daß zum Aufbau eines Digitalvoltmeters nur noch ein LSI-Schaltkreis, ein Anzeigedisplay sowie diskrete Bauelemente benötigt werden [58] und [59]. Bei der neuesten Entwicklung ist der Schaltkreis mit dem Anzeigedisplay zusammengefaßt, so daß für den Aufbau eines digitalen Anzeigegerätes neben einigen diskreten Bauelementen nur noch wenige Handgriffe erforderlich sind [61].

Weitere Gebrauchswerteigenschaften digitaler Anzeigegeräte sind:

— eingebaute mechanische oder elektronische Meßstellenumschalter (dadurch entsteht eine komplette Meßwertüberwachungsstation)

— digitale *und* analoge Ausgangssignale (die analogen speziell zum Anschluß von Registriergeräten)

— Anschluß für Thermoelemente und Widerstandsthermometer (Vierleiterschaltung mit Konstantstromspeisung)

— Großanzeigebausteine für BCD-Ansteuerungen im 5-V-Pegel mit Ziffernhöhen von 135 mm und mehr [60].

2.3.4. Kombination eines Analoganzeigegerätes mit einem Digitalanzeigegerät in einem Gehäuse

Konventionelle Analoganzeigegeräte werden bereits seit längerer Zeit mit mehreren LED's ausgerüstet, die den eingeschalteten Meßbereich oder Betriebszustand signalisieren [62] und [63]. Dadurch werden Bedienungsfehler weitgehend eingeschränkt. Eine weitere Möglichkeit, die bereits industriell angeboten wird, besteht in der Kombination eines Drehspulmeßwerkes mit einem Digitalanzeigegerät in einem Gehäuse [64]. So können Tendenzen analog und genaue Momentwerte digital abgelesen werden. Als Spitzengerät ist ein vollelektronisches Anzeigesystem zu nennen, bei dem im Format 36 mm × 144 mm der genaue Wert 3stellig digital und die Tendenz auf einer Strichskale quasianalog dargestellt werden [66]. Die Analog- und Digitalwertausgabe erfolgt in einer Fluoreszenz-Anzeigeröhre.

2.3.5. Grenzwertmeldung

Die bis vor Jahren überwiegende Grenzwertüberwachung durch analoge Anzeige- oder Registriergeräte mit induktiven, fotoelektrischen oder kapazitiven Abgriffen ist durch die rein elektronische Grenzwertüberwachung weitgehend verdrängt worden. Die Ausführungen reichen von analogen elektronischen Grenzwertüberwachungsbausteinen in Einschubtechnik [65] bis zu digitaler Grenzwertkontrolle in dezentralen digitalen Meßwertüberwachungsanlagen. Nur wenn bei einer Grenzwertüberwachung gleichzeitig eine Anzeige benötigt wird, sind die sog. Meßwerkregler oder Kontaktinstrumente weiter von Vorteil.

2.4. *Moderne Verfahren zur Registrierung analoger Werte*

Die herkömmlichen Verfahren zur Registrierung kontinuierlicher, analoger Meßwerte zeigen keine rückläufige Tendenz. Kein bisher bekanntes Verfahren wurde verdrängt. Selbst die vor kurzem als stark rückläufig angesehenen Fallbügelpunktschreiber stagnierten in der Rückwärtstendenz und werden sogar neu in das Produktionsprogramm aufgenommen, in ihrer Konzeption jedoch den Linienschreibern angepaßt. Bei den Linienschreibern für Einheitssignale erweitern Vorverstärker und Meßumformer den Anwendungsbereich, während bei den Kompensationsbandschreibern neue Bauelemente bzw. Registrierverfahren die Zuverlässigkeit und den Gebrauchswert erhöhen. Neu ist die Forderung, gewisse Funktionen eines Schreibers vom Rechner anwählen zu können. Dazu gehören: Papiervorschub, Meßstelle und Meßbereich. Zusatzforderungen bezüglich Drucken von Uhrzeit und Meßstellennummer lassen sich z. Z. nur mit einem Vorsatzgerät realisieren.

2.4.1. Meßwerk-Linienschreiber

Bei der Überwachung und Registrierung elektrischer Meßwerte in Anlagen zur Energieerzeugung oder -verteilung sind Linienschreiber mit Meßwerken weiterhin im Angebot. So wird in [67] ein System von Linienschreibern in Bausteintechnik vorgestellt, das auf einem kräftigen Drehspulmeßwerk für 0 ... 20 mA bei 1% Fehlerklasse und Linearlenker basiert. Zwei Markiermeßwerke gestatten die Aufzeichnung von Zeitvorgängen. Der Vorteil eines kräftigen Meßwerkes gegenüber einem Kompensationskreis ist das bessere dynamische Verhalten, speziell benötigt bei schnellen Vorgängen (Störungen). Für die natürlichen Abbildungssignale können Meßverstärker vorgeschaltet werden, die Grundfehler von nur 0,1 ... 0,2% haben.

2.4.2. Kompensationsbandschreiber

Die bisherigen Kompensationsverfahren (Poggendorff-Kompensation, Drehmomenten-Kompensation) werden im Prinzip beibehalten. Aber auch innerhalb des Servoregelkreises beginnt die Digitalisierung. Der Aufbau erfolgt mit modernen Bauelementen. Schwerpunkte sind dabei das Rückführglied, der Servomotor und der Papierantrieb:

— Rückführglieder für Kompensationsbandschreiber

Im Rückführglied wird die Stellung (Weg oder Winkel) des Schreibschlittens in eine der Eingangsgröße proportionale Größe umgeformt. Bislang werden dazu vorwiegend mit Konstantspannung gespeiste Potentiometer verwendet, deren Schleifer mit dem Schreibschlitten verbunden ist. Das mit der mechanischen Reibung verbundene relativ hohe Drehmoment sowie die Verschleißerscheinungen führten schon vor langer Zeit zur Entwicklung eines berührungslosen Rückführgliedes. Die ersten induktiven Stellungsgeber mit Wegen von einigen Millimetern als Positioner für Stellantriebe waren zu ungenau, um in Registriergeräte eingesetzt zu werden. Deshalb wurden kapazitive Abgriffe (Differentialkondensatoren) entwickelt. Die Entwicklung begann zunächst mit Zylinderkondensatoren [68] größerer Abmessung und endete mit flächenförmigen Schirmkondensatoren über die gesamte Skalenlänge [69], so daß eine Auflösung von 0,1 mm bei 100 mm Skalenlänge erreicht wurde. In [70] wird ein induktives Rückführglied beschrieben, das die Schlittenstellung ebenfalls über die gesamte Skalenlänge abgreift. Bedeutung gewinnt ein neues Präzisionspotentiometer mit leitender Kunststoffschleifbahn, dessen Linearität mit 0,1% bei einer Lebensdauer von 10^7 Bewegungen angegeben wird [71]. Ein moderner induktiver Abgriff, aus einzelnen Induktionsschleifen entlang der Skalenlänge bestehend, wodurch eine gute Linearität und Auflösung erreicht wird, ist in [72] beschrieben.

— Servomotoren für Kompensationsbandschreiber

Der bislang am meisten verwendete Zweiphasenumkehrmotor ist auch heute noch nicht völlig verdrängt [67].

Er hat seine Berechtigung dort, wo auch noch die Version des Mehrfach-Punktdruckers angeboten wird. Neben dem relativ selten eingesetzten Gleichstrommotor ist der Linearmotor häufig vertreten [73]. Er eignet sich wegen seines einfachen Aufbaus speziell für Mehrfachlinienschreiber. Es sind bereits auch Mehrpunktdrucker damit ausgerüstet. Für digital arbeitende Nachlaufsysteme werden Schrittmotoren eingesetzt, die eine hohe Winkelauflösung gestatten [74].

— Papierantrieb

Vorherrschend sind weiterhin Synchronmotoren und mechanische Uhrwerke mit Gangreserve. Zur Vermeidung des bei Frequenzschwankungen auftretenden Zeitfehlers der Synchronmotorantriebe bieten sich Schrittmotoren an, die von einem quarzstabilisierten elektronischen Impulsgeber angesteuert werden. Durch Impulsteilerstufen lassen sich ohne Getriebe einfache Umschaltungen der Papiervorschubgeschwindigkeit realisieren. Diese Schrittmotoren sind Voraussetzung für die externe Vorschubansteuerung, gleichzeitig ermöglichen sie einen exakten Gleichlauf mehrerer Geräte.

Literatur

[1] Kurzmitteilung: IC-Sensors checks temperatur. Electronics (1977) December, No. 8, p. 178.
[2] *Wurzburg, H.; Hadley, M.:* Digitalvoltmeter circumvents drift. Electronics (1978) January, No. 5, pp. 176 and 177.
[3] *Gößler, R.:* Digitale Meßwertaufnehmer mit Parallel- und Serienschnittstellen. Elektronik (1978) H. 8, S. 48.
[4] *Quaranta, A. A.:* Sensors and Transducers. Trans. Ind. Electronics a. Control Instr. 23 (1976), No. 3, pp. 319–324.
[5] Inserat der Fa. Intel. Electronics (1978) May, No. 11, p. 183.
[6] Firmensprospekt Electrofakt-Control Data Corporation.
[7] *Becker, H.:* Messen und Prüfen — Ein Bericht über die Achema 76. VDI Band 118 (1976) Nr. 17/18, S. 789–884.
[8] *Engel, W. L.; Muchu, L.:* Auswirkungen von Mikroprozessoren auf zukünftige Geräteentwicklungen. Elektronik-Anzeiger 8 (1976) H. 6, S. 145–147.
[9] Firmensprospekt Honeywell: Total Distributes Control TDC 2000.
[10] *Kalk, W.; Oitzl, E.:* Mikrocomputersystem 210. Siemens-Zeitschrift 51 (1977) H. 4, S. 249–254.
[11] *Syrbe, M.:* Höhere Zuverlässigkeit von Prozeßrechnersystemen und niedrige Peripheriekosten durch verteilte Mikroprozessoren. Regelungstechnik (1974) H. 9, S. 264–267.
[12] *Bailey, S. F.:* Innovative Designs Brighten Temperature Control Outlook. Control Engineering (1978), June, pp. 73–77.
[13] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Wandlungsprozesse bei Automatisierungssystemen mit Mikroprozeßrechnern. msr 21 (1978) H. 6, S. 302–307.
[14] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungssysteme mit Mikrorechnern — Konsequenzen für Theorie und Instrumentierung. msr 21 (1978) H. 7, S. 362–367.
[15] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungssysteme mit Mikroprozeßrechnern — Konsequenzen für die Projektierung. msr 21 (1978) H. 8, S. 427 bis 432.
[16] *Mattern, L.:* A/D- u. D/A-Wandler im Umbruch. Electronics 50 (1977) No. 18, pp. 80 and 81.
[17] *den Ouden, J. A.:* Digitalvoltmeter mit der integrierten Schaltung GZF 1200. Valvo-Berichte 20 (1977) H. 2, S. 45–92.
[18] Firmenschrift National Semiconductor: Data Aquisition Handbook.
[19] *Pretzl, G.:* Monolithische D/A- und A/D-Umsetzer. Elektronik (1977) H. 3, S. 38–46.
[20] Firmenschrift Analog-Devices: Digital Panel Instrument Catalog.

[21] Firmenprospekt Intersil.
[22] Werbeanzeige Fa. Analog-Devices: AD 2026. Elektronik **25** (1976) H. 11, S. 9.
[23] Werbeanzeige Fa. Foxboro: Prozeßführung mit Datensichtgerät. Instrumentation Technology **24** (1977) No. 1, pp. 38–39.
[24] *Prophet, G.*: An integrated control system with colour video displays. Control & Instrumentation **9** (1977) No. 9, pp. 30 and 31.
[25] Interkama – Nachlese. Radio-Mentor-Electronic **43** (1977) H. 12, S. 492.
[26] *Sangl, M.*: Quasianaloge Meßwertanzeigen. BTZ-B 28 (1976) H. 18, S. 600–602.
[27] *Urbat, R.*: Analog oder digital? ETZ-B **26** (1976) H. 18, S. 599.
[28] Metrix meint Multimeter. Radio-Mentor-Electronic **44** (1978) H. 2, S. 070 und 071.
[29] *Schlumberger*: Automatisches Digital-Multimeter für netzunabhängigen Betrieb. Elektronikschau **53** (1977) H. 5, S. 64.
[30] Werbeanzeige Fa. Thielen GmbH: Digitalanzeige DVM-Ex „Digitable". Regelungstechnik **25** (1977) H. 4, Titelbild.
[31] *Fraisse, R.*: Die Wahl des Displays für Reglerpulte. Toute Electron (1976) 409 (April) S. 36–51.
[32] Artikelserie über Displays. Electronics Weekly (1975) 765 vom 14. Mai 1975, S. 22–26.
[33] *Stöckle, H.*: Anzeigesysteme (Artikelserie). In: Regelungstechn. Praxis (1976) H. 6 und folgende.
[34] *Runyon, St.*: Einbau-Meßgeräte (in engl. Sprache). Electronic Design **23** (1974) pp. 60–73.
[35] Kurzmitteilung: Fabrik für Drehpulinstrumente. Elektronik **25** (1976) H. 8, S. 22.
[36] Kurzmitteilung: Modernste Anzeigegeräte. Elektroniker **15** (1976) H. 12, Inform. – S. 12.
[37] *Abbert, T.*: Raumsparende Anzeiger und Grenzwertmelder. Elektronik-Anzeiger **7** (1975) H. 8/9, S. 208 und 209.
[38] *Schickel, N.*: Moderne Anzeigetechniken. NTZ **28** (1975) H. 6, S. 189–195.
[39] ... Displays-elektrooptische Ausgabegeräte. Radio Elektronik Schau **50** (1974) H. 3, S. 128–130.
[40] *Jurgen, R. K.*: Ein Vergleich von Display-Techniken (in engl. Sprache). IEEE Spectrum **11** (1974) No. 10, pp. 90–95.
[41] Kurzmitteilung der Neye-Enatechnik. Arch. techn. Messen **468** (1975) Januar, S. R. 12.
[42] Kurzmitteilung: Säulenanzeige mit Leuchtdioden (in engl. Sprache). Electronic Design **21** (1973) No. 21, p. 118.
[43] Kurzmitteilung: Einbauinstrument mit Leuchtdiodenbalken. Elektronik **25** (1976) H. 7, S. 96.
[44] Kurzmitteilung: Erstmals blaue Leuchtdioden. Elektronik **25** (1976) H. 7, S. 35.
[45] Kurzmitteilung: Bar-graph meter takes on analog meter. Electronics **50** (1977) No. 16, pp. 5E and 6E.
[46] Kurzmitteilung: Analoganzeige mit LED's. Electro-Anzeiger **28** (1976) H. 6, S. 144.
[47] *Wolf, J.*: Ansteuerbaustein für Analoganzeige durch ein LED-Leuchtband. Funktechnik **31** (1976) H. 16, S. 496–498.
[48] Kurzmitteilung Fa. Bowmar. In: Radio Mentor Electronic **43** (1977) H. 5, S. 201.
[49] *Kühne, H.*: Ansteuerung von Linearskalen aus GaAsP-Lumineszenzdioden. radio–fernsehen-elektronik **24** (1975) H. 13, S. 429–430.
[50] *Kriedt, H.*: Ansteuerschaltung UAA 170 für Leuchtdiodenskalen. Funktechnik **29** (1974) H. 3, S. 102.
[51] *Matejka, E.*: Das neue Schalttafelmeßgerätesystem ERMA-Meter. angewandte Elektronik mess + regeltechnik (1975) H. 1/2, S. 15.
[52] *Welsch, W.*: Entwicklungstendenzen bei Anzeige-Elementen. Funktechnik **32** (1977) H. 10, S. 167–175.
[53] *Bergt, H.-E.; Walter, K.-H.*: Optoelektronische Anzeigeeinheiten. Elektronik **25** (1976) H. 4, S. 36–42.
[54] Kurzmitteilung Fa. Data Modul GmbH: Neue Flüssigkeitskristall-Anzeigen. Regelungstechn. Praxis **19** (1977) H. 4, S. 118.
[55] *Barth, H. P.*: Mehrstellige Anzeige – besser mit Gasentladung? Elektronikpraxis (1977) H. 3, S. 7–9.
[56] Kurzmitteilung. Fluoreszenzaktiviertes Display (FLAD). Elektro-Anzeiger **30** (1977) H. 8, S. 54 und 55.
[57] Kurzmitteilung. Neuartiges Digital-Display ist leuchtstark, farbig und kontrastreich. Elektronik **26** (1977) H. 4, S. 11 und 12.
[58] Kurzmitteilung Fa. Spezial Electronic KG. Elektronik **26** (1977) H. 7, S. 142 und 143.
[59] Kurzmitteilung Fa. Rieger GmbH. Elektronikschau **53** (1977) H. 7, S. 53.
[60] Kurzmitteilung: Digitale Großanzeiger. Regelungstechnische Praxis **16** (1974) H. 10, S. 273.
[61] Werbeanzeige Fa. Intersil. Electronics **50** (1977) No. 12, p. 45.
[62] Kurzmitteilung: Meßbereich und Signalanzeige mit LED. Elektrotechnik **58** (1976) H. 15/16, S. 5.
[63] Kurzmitteilung Fa. Gossen: Elektronik **25** (1976) H. 8, S. 74.
[64] Kurzmitteilung Fa. Zierold KG: Analog-Digital-Schalttafelanzeigegerät. Regelungstechnische Praxis **18** (1976) H. 10, S. 286.
[65] *Voigt, M.*: Planen mit anzeigenden und elektronischen Grenzsignalgebern. BBC-Nachrichten **58** (1976) H. 9, S. 357–364.
[66] Firmenprospekt Hartmann & Braun: A 2000/A 2002 – das opto-elektronische Anzeigesystem.
[67] *Franke, R.-D; Höhne, W.*: Linienschreiber in Bausteintechnik. Siemens-Z. **50** (1976) H. 2, S. 105–109.
[68] *Zulauf, H.; Mascher, R.*: Ein neues kapazitives Abtastsystem mit Anwendung bei Kompensationslinienschreiber. Feinwerktechnik **75** (1976) H. 5, S. 215–217.
[69] *Klempfner, F.*: Protonic U – ein neues Anzeige- und Regelgerät. messen & prüfen/Automatik (1976) H. 4, S. 122–126.
[70] Kurzmitteilung: Neues kontaktloses Potentiometer mit Feldplatten. automatik (1967) H. 12, S. 444.
[71] Kurzmitteilungen der Fa. Novotechnik: Widerstandsbahnen aus leitendem Kunststoff. Elektronik **25** (1976) H. 11, S. 223 und 224.
[72] *Habiger, E.; Kunze, M.*: Elektrische Antriebe in der Feingerätetechnik. Feingerätetechnik **26** (1977) H. 6, S. 271–276.
[73] *Puschban, F.*: Permanent-Linearmotoren als Servo-Antriebe in Kompensationsschreibern (Metrawatt). ETZ-B **27** (1975) H. 18, S. 485–487.
[74] *Novak, J.*: Industrieller Punktdrucker mit neuartigem Kompensationsmeßwerk. Regelungstechnische Praxis **15** (1973) H. 11, S. 276 und 277.

msr 6957

Dr. *B. Tarlós*, Budapest[1])

FOCUS – eine neue Simulationssprache

IA 1.1.

0. Einleitung

In der letzten Zeit wurde immer häufiger die Forderung gestellt, Programmiersprachen anwenderfreundlich zu gestalten. Hierzu gehört grundlegend die Erfüllung der Forderung, daß das Kategoriensystem der Sprache dem realen Kategoriensystem des Anwenders der Sprache möglichst nahe stehen soll. Dadurch wird erreicht, daß die Modellierung und das Experimentieren mit den Modellen nicht in einer der jeweiligen Aufgabenstellung bzw. dem Nutzer fremden Beschreibungsform verwirklicht werden muß.

Diese Forderung muß man besonders im Falle aufgabenorientierter Sprachen stellen. Gerade in diesem Fall besteht das Grundziel darin, den Anwender bei der Beschreibung des Modells seines realen Systemes bzw. bei der ganzen Modellierung weitgehend zu unterstützen. Die Sprache muß also eine Hilfe für den Anwender sein.

Bei der Entwicklung der Programmiersprache FOCUS, die im Institut für Mathematik und Rechentechnik der Ökonomischen Universität „Karl Marx" – Budapest entwickelt wird, wurden primär solche Anwenderforderungen berücksichtigt, die die Modellierung wirtschaftlicher Prozesse betreffen. Der Name

---

[1]) Mitteilung aus der Ökonomischen Universität „Karl Marx" Budapest, Institut für Mathematik und Rechentechnik.

FOCUS ist eine Abkürzung für Fortran Oriented Control and Universal Simulator. Wie bereits aus dem Namen hervorgeht, war das Ziel die Schaffung einer allgemeinen, in FORTRAN geschriebenen Simulationssprache. Diese Sprache wird bereits zur Lösung einiger praktischer Aufgaben benutzt. Sie ist jedoch noch nicht als völlig abgeschlossen zu betrachten. Letzte Verfeinerungen werden aufgrund praktischer Erfahrungen eingebracht werden.

Die Sprache FOCUS war ursprünglich eine rein diskrete, ereignisorientierte Simulationssprache. Später erfolgte eine Spracherweiterung, um auch die Simulation stetiger Systeme zu ermöglichen, wie sie z. B. durch solche Modelle beschrieben werden, die durch Systeme von Differentialgleichungen gegeben sind. Damit ist heute FOCUS als eine kombinierte Simulationssprache zu klassifizieren. Sie besteht aus etwa 50 hierarchisch aufeinander aufgebauten Subroutinen.

In diesem Beitrag werden die methodischen Fragen behandelt, die die Entwicklung der Simulationssprache FOCUS charakterisieren.

1. Speicherung und Aufruf abgespeicherter Daten

Allgemein sind Datenverarbeitungsaufgaben dadurch charakterisiert, daß der Datenbestand relativ stabil ist, d. h., bei der Lösung einer Aufgabenstellung wird ein bedeutender Teil der Datensätze höchstens einmal oder zweimal verändert. Im Gegensatz dazu ändern sich während der Rechnungen für eine Simulationsaufgabe die Datensätze sehr häufig, da ja ihr Inhalt die momentanen Charakteristika eines sich in der Zeit verändernden Objektes repräsentiert. Insbesondere muß darauf hingewiesen werden, daß sich aufgrund des dynamischen Verhaltens des Objektes die Zustandsgrößen des Modelles ständig ändern. Hieraus ergeben sich Forderungen an die dafür benötigten Datenspeicherungsstrukturen:

- schnelles Lesen, Speichern und Verändern der Daten
- den Ansprüchen entsprechende Zuordnung von Speicherbereichen und einzelnen Datenbeständen.

Da die Gesamtheit des Datenbestandes bei einer Simulation im Vergleich zu umfassenden Datenverarbeitungsproblemen nicht allzu groß ist, wird der Datenbestand in der Simulationspraxis oft zentral gespeichert. Periphere Geräte werden für einzelne Fälle oder Situationen zur Auslagerung von Daten gebraucht.

Das Grundprinzip der Datenspeicherung bei FOCUS ist im Bild 1 dargestellt. Insbesondere ist hieraus ersichtlich, daß der zentrale Datenbestand als zweidimensionale Menge aufgebaut ist. Es sind 2 Datenbestände ersichtlich, wobei der erste aus drei, der zweite aus zwei Sätzen besteht. Auf die jeweils ersten Sätze der einzelnen Bestände zeigt je ein Pointer, in der Darstellung mit z_1 bzw. z_2 bezeichnet. Wie ebenfalls aus Bild 1 ersichtlich, ist jeder Bestand auf eine Pointerkette „aufgefädelt".

So zeigt vom ersten Satz ein Pointer auf den zweiten, vom zweiten auf den dritten usw. In diesem Sinne ergibt sich eine vorwärtszeigende Pointerkette. Analog dazu gibt es auch eine rückwärtszeigende Pointerkette (im Bild 1 nicht dargestellt). In diesem Fall zeigt ein äußerer Pointer auf den jeweils letzten Satz eines Bestandes und von dort aus ein weiterer Pointer innerhalb dieses letzten Satzes auf den vorletzten Satz usw. Die beiden entgegengesetzten Verkettungen der Sätze innerhalb eines Bestandes ermöglichen es, neue Sätze an einer beliebigen logischen Stelle einzufügen bzw. Sätze zu entfernen. Die aus den Beständen entfernten Sätze werden an den nicht besetzten Bereich an einen der Satzlänge entsprechend freien Bestand angefügt. Im Bild 1 sind die nicht besetzten Bereiche schraffiert.

Wenn also z. B. der 2. Satz des 1. Bestandes gelöscht werden soll, so bedeutet das in der hier vorgestellten Realisierung von FOCUS, daß die einzelnen Pointer automatisch umgestellt werden und der freigewordene physische Platz ebenfalls automa-

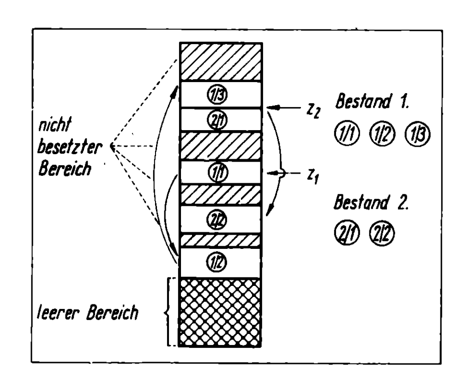


Bild 1
FOCUS-Datenspeicherung

tisch auf den entsprechenden freien Bestand „aufgefädelt" wird. Wenn zu einem gebundenen Bestand weitere Sätze hinzugefügt werden sollen (z. B. in den zweiten Bestand soll ein Satz zwischen dessen ersten und zweiten Satz eingefügt werden), dann wird überprüft, ob auf den entsprechenden freien Bestand wenigstens ein Satz „aufgefädelt" ist. Ist dies der Fall, so wird der erste Satz als physischer Platz für den neuen Satz markiert. Ist dies nicht der Fall, ist also kein Platz im entsprechend freien Bestand vorhanden, dann wird der Anfang des leeren Bereiches als physischer Platz für den neuen Satz markiert. In FOCUS wird der Bereich als leer bezeichnet, in dem sich kein einziger gebundener Satz befindet. In diesem Sinne wird also der leere Bereich durch den unteren Teil des Datenbestandes gebildet. Wird im Laufe der Rechnung der leere Bereich gefüllt, so kommt es zur Komprimierung des zentralen Datenbestandes, d. h., die gebundenen Sätze werden an den Anfang des Datenbestandes „zurückgesetzt". Damit erlöschen die freien Bestände und man erhält wieder einen einheitlichen leeren Bereich. Die hier grob skizzierte Organisation der Datenverwaltung geht in FOCUS vollkommen automatisch vonstatten, wobei der Anwender die vom Datenwartungssystem gewünschten Leistungen durch Angabe von Parametern steuert.

Folgende grundlegenden Aufgaben der Datenverwaltung sind in FOCUS realisiert:

- Einfügen eines neuen Satzes in einen Datenbestand
- Entfernen von Sätzen aus einem Datenbestand
- Suchen eines Satzes mit bestimmten Eigenschaften in einem Datenbestand
- Auflisten des Datenbestandes oder eines Teiles davon.

2. Handhabung der Zeit

Das Prinzip der automatischen Zeithandhabung sowie der Ereignissteuerung beruht bei FOCUS auf dem folgenden:
Die Sprache definiert grundsätzlich zwei Listen:

- FEC-Liste (Future Events Chain), Liste der zukünftigen Ereignisse
- BEL-Liste (Blocked Events List), Liste der blockierten Ereignisse.

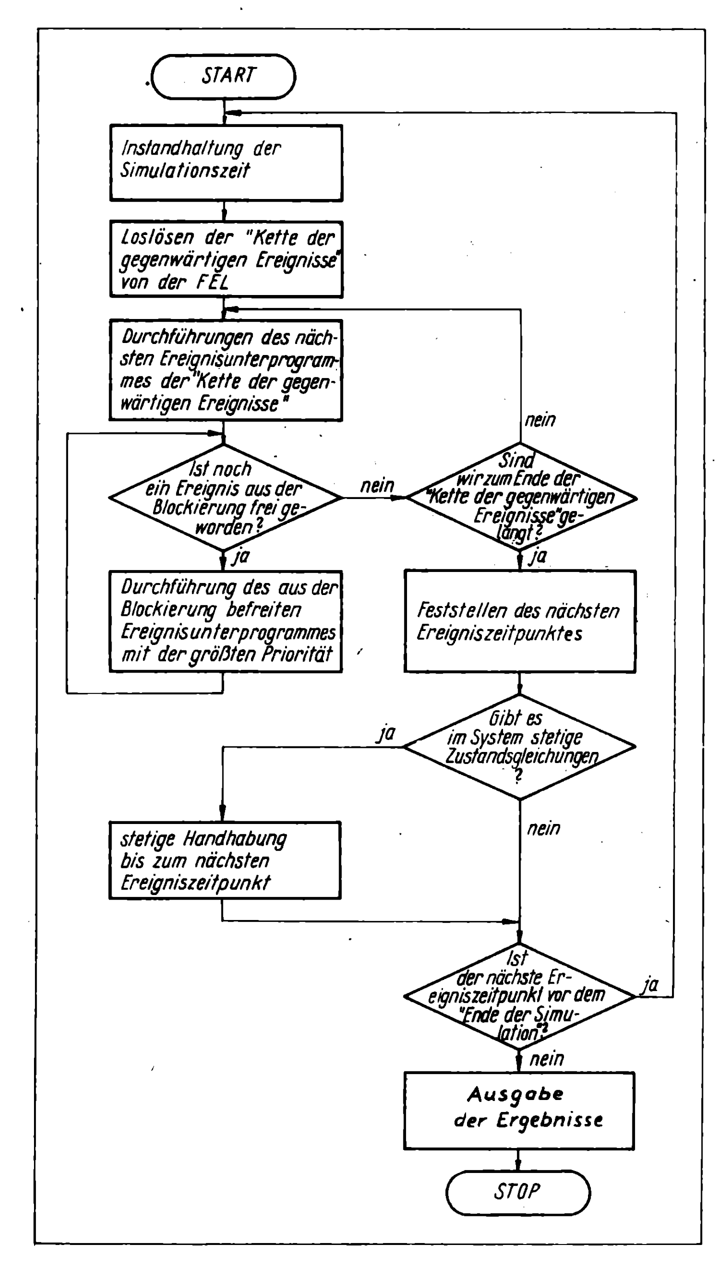
In der FEC-Liste sind diejenigen Ereignisse zu finden, deren nächstes Eintreffen schon zeitlich festgelegt wurde (also die Zeitpunkte, zu denen die einzelnen Ereignis-Unterprogramme aufgerufen werden). Die BEL-Liste enthält die laufenden Nummern der Ereignisse, die zum jeweiligen momentanen Simulationszeitpunkt blockiert wurden bzw. das Ereignisunterprogramm, das zu einem früheren Zeitpunkt infolge eines Systemzustandes blockiert wurde.

Bild 2 zeigt das Prinzip der FOCUS-Zeithandhabung.

Wie man aus der Darstellung sehen kann, löst sich die Kette der gegenwärtigen Ereignisse von der der zukünftigen Ereignisse (FEL), nachdem der neue, aktuelle Simulationszeitpunkt bestimmt ist.

Die Kette der gegenwärtigen Ereignisse wird durch jene Ereignisse gebildet, deren Durchführung für den momentanen Zeitpunkt vorgesehen ist.
Danach wird die Steuerung an das erste durch die Kette der gegenwärtigen Ereignisse bestimmte Ereignis übergeben. Während der Durchführung dieser Ereignisunterprogramme können sich gewisse Blockierungen auflösen. Demzufolge kommt es nach der Durchführung des gegebenen Ereignisunterprogrammes zur Abarbeitung der aus der Blockierung befreiten Ereignisse, und zwar in der Reihenfolge ihrer Priorität. Zyklisch, in einer zum vorangegangenen analogen Art und Weise, werden alle Ereignisse der Kette der gegenwärtigen Ereignisse bzw. die durch diese aus der Blockierung befreiten Ereignisse durchgeführt. Wenn auf der Grundlage der Kette der gegenwärtigen Ereignisse festgestellt wird, daß weitere durchzuführende Ereignisse nicht vorhanden sind, wird der nächste Simulationszeitpunkt gemäß der Liste der zukünftigen Ereignisse bestimmt. Ist im betrachteten Modell eine stetige Systembehandlung ebenfalls vorhanden, so kommt bis zum nächsten Simulationszeitpunkt die Auswertung der die stetige Handhabung beschreibenden Differentialgleichungen bzw. die Durchführung der zustandsgesteuerten Ereignisse an die Reihe, die infolge ausgezeichneter Werte der oben erwähnten Gleichungen eintreten.

Bild 2. Handhabung der Zeit



Wenn sich der nächste diskrete Simulationszeitpunkt noch vor dem geplanten Ende der Simulationsuntersuchung befindet, dann wiederholt sich das im vorangegangenen beschriebene für den neuen Simulationszeitpunkt. Am Ende der geplanten Laufzeit erfolgt die automatische Ausgabe der Ergebnisse.
FOCUS vollführt die Ablaufsteuerung vollkommen automatisch. Der Anwender muß lediglich bei den Ereignisunterprogrammen für die Versorgung der entsprechenden Phasen sorgen.

3. Generierung von Zufallszahlen mit verschiedenen Verteilungen

Im weiteren sollen einige Hinweise auf die in FOCUS eingebauten Zufallszahlengeneratoren gegeben werden. In jeder Simulationssprache sind Möglichkeiten vorhanden, Zufallszahlen zu erzeugen, die zu bestimmten mathematischen Verteilungen gehören (z. B. normal, exponentiale, gleichmäßige Verteilungen). Diese gibt es — in der üblichen Lösung — auch bei FOCUS. Es gibt im allgemeinen bei den Simulationssprachen keine Unterstützung durch das System hinsichtlich der Verwendbarkeit verschiedener eingegebener empirischer Verteilungen. Wenn das System mit einer durch den Anwender bestimmten Verteilung arbeiten soll, dann muß bei den meisten Sprachen der Anwender deren Handhabung im Anwenderprogramm beschreiben. Bei FOCUS wird auch die Eingabe empirischer Verteilungen unterstützt, indem der Anwender die Input-Verteilungen mit Hilfe von Definitionskarten eingibt. Die Erzeugung der Zufallszahlen organisiert ein spezielles Unterprogramm, das nach drei verschiedenen Prinzipien arbeitet.

4. Automatische Herstellung der Output-Statistiken

Ein Teil der Simulationssprachen sammelt automatisch solche statistischen Daten, die am Ende eines Rechenlaufes automatisch ausgeschrieben werden und aus denen der Modellierer die unbekannten Parameter des untersuchten Systems bestimmen kann. Eine solche Sprache ist z. B. SIMDIS, die gut handhabbare, in der Praxis direkt verwendbare Ergebnisse liefert. In anderen Sprachen ist eine automatische Statistikensammlung überhaupt nicht vorgesehen. Selbst eine so verbreitete Sprache wie SIMULA 67 gehört zu diesen Sprachen.

Bei der Konzeption der FOCUS-Sprache wurde angestrebt, möglichst weitgehend den Modellierer bei der Herstellung der Output-Statistiken zu unterstützen. Dementsprechend werden in der Sprache folgende Arten von Statistiken automatisch hergestellt:

— Über die Grundbestände, deren Modellinhalt z. B. eine Warteschlange, eine Bedienungseinrichtung, ein Speicher oder jedes andere Sammelobjekt sein kann, werden die in der Simulationspraxis mehr oder weniger gebräuchlichen Daten bereitgestellt, so u. a. die folgenden Kennziffern:
  - Gesamtinhalt
  - minimaler und maximaler Inhalt
  - im Bestand verbrachte Durchschnittszeit und Steuerung
  - Ausnutzung (Prozent)
— Über spezielle bzw. vom Gesichtspunkt der Modellierung und Analyse aus besonders wichtige Bestände, die der Anwender bestimmt, werden sogenannte spezielle Statistiken hergestellt.

Praktisch bedeutet dies, daß bei gewissen Output-Parametern, die der Anwender besonders zu untersuchen wünscht, mit dem Modell auch empirische Wahrscheinlichkeitsverteilungen hergestellt werden, sowohl in numerischer als auch grafischer Form. Das Plus an Möglichkeiten bei FOCUS gegenüber anderen Sprachen ist, daß der Anwender in Verbindung mit den Output-Verteilungen für das System im voraus nichts anzugeben braucht. Bild 3 zeigt eine mit FOCUS hergestellte Verteilung.

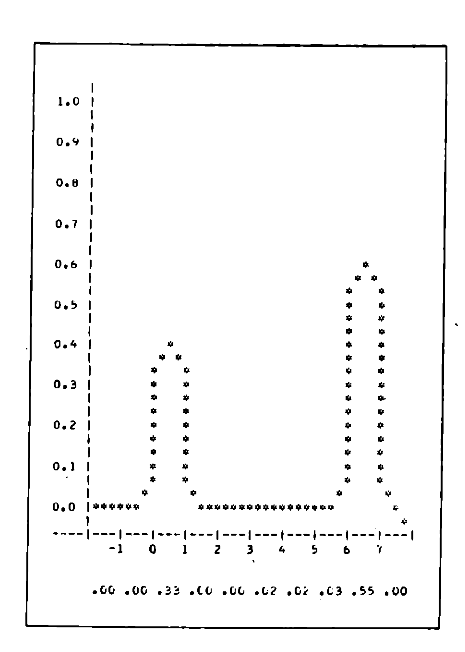


Bild 3
Output-Verteilung

5. Fehlersuche

Ein bedeutender Teil der Simulationsmodelle wird gegenwärtig mit Hilfe allgemeinorientierter Programmsprachen realisiert. Dies erfordert eine bedeutende Programmierarbeit. Die mit allgemeinorientierten Programmsprachen verwirklichten Simulationsmodelle bergen eine große Gefahr in sich: sie haben keinen entsprechenden Simulations-Fehlerschutz. FOCUS verfügt über Fehlerschutz bzw. Fehleranzeige, Eigenschaften, die von einer aufgabenorientierten Programmsprache erwartet werden können. FOCUS zeigt eine Reihe solcher Fehler, die bei allgemeinorientierten Sprachen als semantische Fehler erscheinen, als syntaktische Fehler an. Das erleichtert in großem Maße die Arbeit des Modellierenden und des Programmierers, da das Modell innerhalb annehmbarer Zeit auf dem Rechner realisierbar ist. Bei FOCUS ist ein einheitliches Fehlerhandhabungssystem eingebaut, das die auftretenden Fehler untersucht und in Abhängigkeit vom Charakter des Fehlers eine informative Fehlernachricht gibt oder das Programm unterbricht.

6. Handhabung komplexer Kategorien

Von einer aufgabenorientierten Sprache erwartet der Nutzer nicht nur, daß er durch ihre Anwendung bedeutende Programmierarbeit spart, sondern auch, daß sie sich auf solch ein Kategoriensystem bezieht, das auch in der Modellierarbeit eine bedeutende Hilfe darstellt. Dieser Aufgabe können die aufgabenorientierten Sprachen um so mehr entsprechen, je mehr diejenigen, die sich mit der Herausbildung der Sprache beschäftigen, bestrebt sind, solche (auch durch den Anwender gehandhabte) Strukturen und Befehle herzustellen, die den realen Kategorien der Aufgabenklasse nahestehen und daher nicht nur von den einfachsten Verwirklichungsmöglichkeiten der Rechentechnik ausgehen. Es ist vorteilhaft und vom Gesichtspunkt der rechentechnischen Handhabung recht klar, wenn die ganze Sprache auf ein paar Grundkategorien beruht. Bei der SIMDIS-Sprache sind solche grundlegenden Kategorien die Transaktion und der Block (die Transaktionen sind die sich „bewegenden" Komponenten, die die Blöcke besetzen). Bei SIMULA bildet der Prozeß die zentrale Kategorie (die Dynamisierung des Modells baut auf den vier Zustandsmöglichkeiten des Prozesses auf: arbeitend, suspendiert, passiv, vernichtet (terminate)). Bei SIMSCRIFT baut das System auf den Grundbegriffen Objekt, Attribut, Menge und Ereignisunterprogramm auf. Die Grundkategorien sind einerseits durch den Anwender direkt benutzbar, andererseits können auf diesen die zusammengesetzteren, komplexen Kategorien der Sprache aufbauen.

FOCUS baut auf einer einzigen Grundkategorie auf: dem File. Dafür wurde bewußt kein spezieller Fachausdruck in die Sprache aufgenommen, da diese allgemeine rechentechnische Bezeichnung das Wesen der Kategorie am besten ausdrückt: eine Gesamtheit von nach einem gewissen Gesichtspunkt zusammengehörenden Objekten. Praktisch kann eine beliebige Aufgabe mit FOCUS auf dessen Grundkategorie, dem File, aufbauend modelliert werden. Der Gebrauch der komplexen Kategorien ermöglicht jedoch eine leichtere Modellierung sowie eine bedeutende Einsparung beim Programmieren.

Die komplexen Kategorien sind bei FOCUS solche Systemelemente, die einerseits dem Modellierer bei der Untersuchung bzw. Beschreibung des realen Systems helfen, andererseits die FOCUS-Programmierarbeit erleichtern. Die komplexen Kategorien sind dem Modellierer insoweit eine Hilfe, als sie ihm gewisse Systembetrachtungs- bzw. -beschreibungsmöglichkeiten „auf dem Tablett" anbieten. Die Programmierarbeit wird erleichtert, da das — ansonsten durch den Anwender zu schreibende — Programm wesentlich verkürzt wird, weil gewisse Tätigkeiten als Systemdienstleistungen hervortreten, deren Aufgabe bei ihrem Fehlen der Anwender übernehmen müßte.

Die in FOCUS realisierten komplexen Kategorien können aus keinem Gesichtspunkt heraus als „vollständiges" System betrachtet werden. Es wurden einige solche Kategorien herausgearbeitet, die bei der Beschreibung ökonomischer Prozesse vorteilhaft sind. Im weiteren werden einige komplexe FOCUS-Kategorien vorgestellt:

a) Bearbeitungsreihe

Bei der Modellierung von Produktionsprozessen bedeutet die Bearbeitung eines Produktes häufig die Verrichtung mehrerer Operationen hintereinander. Die zur Verrichtung der aufeinanderfolgenden Operationen notwendige Zeit kann (auf der Grundlage verschiedener Wahrscheinlichkeitsverteilungen) auf verschiedene Art und Weise bestimmt werden. Es würde zu falschen Schlußfolgerungen führen, wenn die Bearbeitungsreihe einfach als eine Aufeinanderfolge von Bedienungseinrichtungen, Lagern bzw. Wartestellen aufgefaßt würden. Die klassischen Behandlungsmethoden können nur wenig zur Handhabung solcher zusammengesetzter Kategorien zeigen. Selbst bei aufgabenorientierten Simulationssprachen bedeutet der modellmäßige Aufbau einer Bearbeitungsreihe eine relativ schwierige Arbeit. Bei FOCUS werden die Bearbeitungsreihen vollständig auf Definitionsniveau gegeben. Es werden die Files, die die Bearbeitungsreihe bilden, die in dieser (verbrauchten) Zeit beschreibenden Funktionen und die Werte-Charakteristika definiert. Danach muß der Anwender nur noch das Besetzen bzw. Verlassen der Warteschlange modellieren; alle Zwischenschritte erledigt das System automatisch.

Neben den normalen Statistiken erhält man über die die Bearbeitungsreihe bildenden Files auch solche Angaben, die die ganz komplexe Kategorie charakterisieren, z. B.:

— gering ausgenutzte Bedienungs-Einrichtungen
— Engpässe
— Durchschnittsausnutzung der Einrichtungen
— Durchlaufzeit für das gesamte System.

Mit der Bearbeitungsreihe wurde die Möglichkeit der Weiterentwicklung der Sprache in Richtung einer Definitionssprache demonstriert. Ein aus dieser Bearbeitungsreihe bestehendes System ist sozusagen ausschließlich auf Definitions-, also Datenniveau formulierbar.

b) Aufeinander-Wartepunkt

Die Handhabung der bei der Modellierung wirtschaftlicher Systeme oft notwendigen zusammengesetzten Systemelemente

verwirklicht die FOCUS-Sprache mit dem „Aufeinander-Wartepunkt“.

Zum In-Bewegung-Setzen einer Ladung z. B. kann es notwendig sein, daß die die Ladung bildenden Waren alle zur Verfügung stehen.

Der „Aufeinander-Wartepunkt“ ist ein ausgezeichneter FOCUS-Bestand, aus dem das Austreten der Sätze so lange blockiert wird, bis die vom Anwender nach Eigenschaft, Menge und Charakteristika vorgeschriebenen Sätze zusammenkommen.

c) Wähler

Es kann vom momentanen Systemzustand abhängen, ob eine bzw. welche Einrichtung von einem Objekt zu einem gegebenen Zeitpunkt eines ökonomischen Prozesses besetzt wird. Das gleiche gilt für den Eintritt in eine Warteschlange und die Art einer Bearbeitung bzw. Bedienung. Das Objekt muß also z. B. eine solche Reihe besetzen,

- deren momentaner Inhalt der kleinste ist,
- in der die Anzahl der sie bis jetzt durchlaufenden Objekte die größte ist,
- deren durchschnittlicher Inhalt der kleinste ist.

Solche und ähnliche Auswahlen ermöglicht bei FOCUS der Wähler, der die sich bewegenden Objekte des Systems auf der Grundlage verschiedener File-Attribute in denjenigen File lenkt, der die vom Anwender definierten Eigenschaften hat.

7. Behandlung stetiger Teilsysteme

FOCUS war in seiner ersten Variante eine diskrete Simulationssprache. Die Anwenderansprüche gaben jedoch den Anlaß, die Sprache in Richtung einer kombinierten Sprache zu entwickeln. Im Gegensatz zu den diskreten Realisierungen, in denen die Sprache durch selbständige Entwicklung verwirklicht wurde, stützt sich FOCUS bei der stetigen Handhabung zum großen Teil auf die Sprache GASP IV.

Die Beschreibung der stetigen Systemelemente ist in FOCUS mit Hilfe eines Differentialgleichungssystems möglich. Von der in GASP IV angewandten Lösung wurde auf zwei grundlegenden Gebieten abgewichen:

- Für die Darstellung der Ereignisse wurde ein übersichtlicherer, einfacherer Output geschaffen.
- In Verbindung mit dem Integrationsverfahren wurden neuartige Lösungen gewählt.

Das Erscheinungsbild der Ergebnisse (des Outputs) ist in erster Linie ein technisches Problem. Die an den Integrationsverfahren vorgenommenen Veränderungen (die noch nicht vollkommen verwirklicht wurden) führen dazu, daß methodisch nach einem anderen Prinzip, als man es bisher bei Simulationssprachen gewöhnt ist, gearbeitet wird.

Grundprinzip:

Das Runge-Kutta-Verfahren ist mit seinen verschiedenen Freiheitsgraden ein eingebautes Element der Sprache. Während der gesamten Simulationszeit kann die Runge-Kutta-Näherung geändert werden. Grundlegend wird das so verwirklicht: Wenn in den vorangegangenen Teilschritten — auf Grundlage der Fehlerschätzung — eine sehr gute Näherung erreicht wird, so wird der Freiheitsgrad der anzuwendenden Runge-Kutta-Schätzung gesenkt und umgekehrt. So wird praktisch mit zwei Parametern gearbeitet: mit der Schrittlänge und dem Freiheitsgrad. Letzten Endes wird also bei Zeitabschnitten kleiner Veränderungen mit Näherungen geringerer Ordnung und großen Schrittlängen, dagegen bei Zeitabschnitten mit starken Veränderungen mit Näherungen höherer Ordnung und kleineren Schrittlängen gearbeitet.

Die Auswertung der bisherigen Proberechnungen für stetige Zustandsgleichungen nach obigem Prinzip ergab, daß sie vom Standpunkt der Aufarbeitungszeit bzw. der Genauigkeit zu einer günstigeren Modellierung führen als die Anwendung einer einzigen Methode. Trotz alledem können die diesbezüglichen Versuche noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden.

Im vorangegangenen wurde versucht, einige charakteristische Eigenschaften der FOCUS-Sprache zusammenzufassen. Die Sprache bewies schon bei einigen praktischen Anwendungen ihre Daseinsberechtigung. Auf jeden Fall sind jedoch noch weitere Untersuchungen und Anwendungen nötig, um die Vor- bzw. Nachteile der Sprache gegenüber anderen Simulationssprachen herausarbeiten zu können.

Literatur

[1] *Tarlós, B.:* Simulation von Bedienprozessen unter Anwendung des FOCUS-Systems. Rostocker Betriebswirtschaftliche Manuskripte, Heft 20, S. 135 bis 144.

[2] *Fischer, J.; Gerhardt, H.-D.; Schwarze, G.; Tarlós, B.; Voß, M.:* Digitale kombinierte Simulationssysteme. In: Anwendungsaspekte der Systemanalyse. Herausgeber: A. Sydow. Berlin: Akademie-Verlag 1980.

[3] *Tarlós, B.:* Einige methodologische Fragen der kombinierten Simulationsmodellierung. 8. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierungs- und Simulationstechnik“, Rostock 1979, Kurzreferate S. 96 und 97.

[4] *Pritsker, A. A. B.:* The GASP-IV Simulation Language. New York: Wiley Interscience 1974.

msr 7094

Dipl-Ing. *N. Trautwein* und Doz. Dr.-Ing. *H. Wolf*, Leipzig[1])

Zusammenhang zwischen der Analyse des zu führenden technologischen Prozesses und der Synthese einer asynchronen Binärsteuerung

IA 2.4.1.1.; 5.6.0.

0. Einleitung

Die Notierung Prozeßablaufplan (PRAP) — Steuerungsablaufplan (STAP) — Steuermatrix (STM) [1] [2] und [3] ermöglicht die Verkopplung der Analyse des technologischen Prozesses und der Synthese einer asynchronen Binärsteuerung, die den technologischen Prozeß in der gewünschten Weise führen kann, im Dialog Projektant — EDV-Anlage. Durch diese Dialogkopplung kann ein Teil der automatentheoretischen Probleme bereits bei der Analyse des technologischen Prozesses von einer EDV-Anlage gelöst werden. Eine strenge Trennung zwischen der gewünschten Prozeßführung und den technologischen Nebenbedingungen (technologisch unmögliche Eingangssignale) ist Grundanliegen der Notierung PRAP-STAP-STM. Diese Trennung bringt den Vorteil, daß der Projektant ohne Berücksichtigung automatentheoretischer Gesichtspunkte die gewünschte Prozeßführung notieren kann. Das ermöglicht eine breite Anwendung dieser Notierung in der Praxis. Die technologisch unmöglichen Eingangssignale X_j ermöglichen es ihrerseits, automatentheoretische Probleme zu vereinfachen. Diese X_j muß der

---

[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

Projektant primär nicht notieren, da sie ihm von der EDV-Anlage durch zielgerichtete Fragen im Dialog abverlangt werden können. An den ausgewählten Problemkreisen Verträglichkeit von Zuständen und Beseitigung gefährlicher Wettläufe wird dies nachgewiesen.

1. Steuermatrix — STM

Eine STM besteht aus Zählzeilen m (aktuelle Zustände Z_m) und Zählspalten n (Folgezustände Z_n), den Überführungsbedingungen $x_{m/n}$ des quadratischen Hauptteiles, den Elementen u_{em} der Zusatzspalte U_e (technologisch unmögliche X_j) und den Elementen y_{am} der Zusatzspalte Y_a (geforderte Ausgangssignale Y_j) [4]. Bilder 1 und 2 zeigen zwei STM des Beispieles „x-y-Schreibsteuerung" aus [5]. Für dieses Beispiel kann (direkt aus dem STAP) die gewünschte Prozeßführung (Bild 1) als STM notiert werden.

Das Erfassen aller technologisch unmöglichen X_j führt zu den Überführungsbedingungen $x_{m/n}$, die nur noch technologisch mögliche X_j beschreiben (Bild 2; technologisch unmögliche X_j in der Zusatzspalte U_e).

Die weiteren Betrachtungen (Verträglichkeit von Zuständen und Beseitigung gefährlicher Wettläufe) werden parallel an den beiden STM durchgeführt, um die Bedeutung der Erfassung technologisch unmöglicher X_j zu demonstrieren.

2. Verträglichkeit von Zuständen

Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet die in [6] angegebene Bedingung für die Verträglichkeit eines Zustandspaares. Danach sind zwei Zustände Z_e und Z_f verträglich ($Z_e \simeq Z_f$), wenn der Automat mit dem Initialzustand Z_e bzw. Z_f für beliebige Folgen sowohl in Z_e als auch in Z_f technologisch möglicher X_j die gleichen Folgen Y_j produziert. Diese Bedingung aus [6] wird mit drei Einschränkungen belegt, und die daraus resultierenden Konsequenzen werden dargelegt.

Einschränkung 1:
Stets wird angenommen, daß die Ausgangssignale Y_j aller Zustände unverträglich sind.
Konsequenz:
Die Entscheidung, ob zwei Zustände Z_e und Z_f verträglich sind oder nicht, kann allein durch die Betrachtung der Überführungsbedingungen $x_{m/n}$ und der technologisch unmöglichen $X_j(u_{em})$ getroffen werden.

Einschränkung 2:
Stets werden nur einzelne Eigangssignale X_j betrachtet (keine Folgen von X_j).
Konsequenz:
Die Entscheidung, ob zwei Zustände Z_e und Z_f verträglich sind oder nicht, hängt nur noch von den in Z_e und Z_f technologisch möglichen X_j ab.

Einschränkung 3:
Bedingte Verträglichkeiten werden nicht betrachtet.
Konsequenz:
Für alle in Z_e und Z_f technologisch möglichen X_j muß die Binärsteuerung in die gleichen Folgezustände übergehen, um eine Verträglichkeit von Z_e und Z_f zu ermöglichen.

Diese drei Einschränkungen gestatten die Formulierung eines einfachen praktikablen Kriteriums für die Verträglichkeit von Zuständen:

Satz 1:
Zwei Zustände Z_e und Z_f sind verträglich, wenn alle Überführungsbedingungen der Zählzeilen e und f die Bedingungen (1) und (2) erfüllen

$$\left.\begin{aligned} &\forall k \in \{0, \dots, N\} \wedge e \neq f \neq k \rightarrow \\ &x_{e/k} \wedge \bar{u}_{ee} \wedge \bar{u}_{ef} = x_{f/k} \wedge \bar{u}_{ef} \wedge \bar{u}_{ee} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$x_{e/e} \wedge x_{f/f} = 0\,. \quad (2)$$

Die Notierung STM gestattet das „Überlaufen" von Zuständen und fordert nicht die Erfassung aller technologisch unmöglichen Eingangssignale. Beides schränkt die Menge der nachweisbaren Verträglichkeiten ein. Eine STM ohne „Überläufe" und mit allen technologisch unmöglichen Eingangssignalen, die Universal-Steuermatrix genannt wird [4] und mit ihren Aussagen einer Automatentabelle entspricht, deckt zwar alle Verträglichkeiten nach Satz 1 auf, erfordert aber einen hohen Notierungsaufwand (Vergleich Bild 1 mit Bild 2). Für die Projektierung ist es deshalb sinnvoller, die einfachere STM nach Bild 1 zu notieren und nur im Bedarfsfall durch die Beseitigung der „Überläufe" und die schrittweise Erfassung technologisch unmöglicher X_j im Dialog Projektant — EDV-Anlage nach Verträglichkeiten zu suchen.

STM nach Bild 1:
Kein Zustandspaar erfüllt den Satz 1.

STM nach Bild 2:
Die Erfüllung des Satzes 1 wird am Zustandspaar $Z_1 - Z_2$ demonstriert, und im Bild 3a wird das vollständige Verträglichkeitsdiagramm dargestellt.

Bedingung (1):

$$x_{1/0} \wedge \bar{u}_{e1} \wedge \bar{u}_{e2} = 0\,; \qquad x_{2/0} \wedge \bar{u}_{e2} \wedge \bar{u}_{e1} = 0$$

$$x_{1/3} \wedge \bar{u}_{e1} \wedge \bar{u}_{e2} = x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4\,; \qquad x_{2/3} \wedge \bar{u}_{e2} \wedge \bar{u}_{e1} = x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4$$

$$x_{1/4} \wedge \bar{u}_{e1} \wedge \bar{u}_{e2} = 0\,; \qquad x_{2/4} \wedge \bar{u}_{e2} \wedge \bar{u}_{e1} = 0$$

Bedingung (2)

$$x_{1/1} \wedge x_{2/2} = 0$$

3. Beseitigung gefährlicher Wettläufe

Existiert ein Paar von Übergängen ($Z_p \rightarrow Z_a$) und ($Z_q \rightarrow Z_b$) die für mindestens ein Eingangssignal X_j beide veranlaßt wer-

Bild 1. STM einer „x-y-Schreibsteuerung" nach [5] ohne Berücksichtigung technologisch unmöglicher X_j

STM	0	1	2	3	4	U_e	Y_a
0	$\bar{x}_0$	x_0					
1		$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$x_1\bar{x}_2$	$x_1x_2 \vee x_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3$		y_1
2			$\bar{x}_2$	x_2			y_2
3				$\bar{x}_3$	x_3		y_3
4	$\bar{x}_0x_4$	x_0x_4			$\bar{x}_4$		y_4

Bild 2. STM „x-y-Schreibsteuerung" nach [5] unter Berücksichtigung aller technologisch unmöglichen X_j

STM	0	1	2	3	4	U_e	Y_a
0	$\bar{x}_0\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2x_3x_4$	$x_0\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2x_3x_4$				$x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4$	
1		$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$	$x_2\bar{x}_3\bar{x}_4$	$x_1x_2 \wedge x_3\bar{x}_4$	$x_1x_3 \vee x_2x_4$	y_1
2			$x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$	$x_1x_2 \wedge \bar{x}_3\bar{x}_4$		$\bar{x}_1 \vee x_3 \vee x_2x_4$	y_2
3				$x_2\bar{x}_3\bar{x}_4$	$\bar{x}_1x_2 \wedge x_3\bar{x}_4$	$\bar{x}_2 \vee x_4 \vee x_1x_3$	y_3
4	$\bar{x}_0\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2x_3x_4$	$x_0\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2x_3x_4$			$\bar{x}_1x_3\bar{x}_4$	$x_1 \vee \bar{x}_3 \vee x_2x_4$	y_4

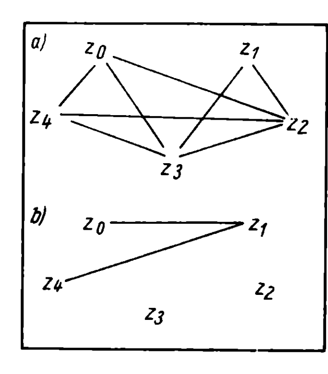


Bild 3
Zustandsrelationen der STM nach Bild 2
a) Verträglichkeitsdiagramm entsprechend Satz 1
b) Unverträglichkeitsdiagramm aus Dichotomien

den sollen und beide im Zustand Z_a bzw. Z_b enden, so spricht man von einer Dichotomie [6]. Dichotomien sind spezielle Partitionen, bei denen das eine Übergangspaar den Block 1 und das andere Übergangspaar den Block 2 bildet:

$$Z_p \rightarrow Z_a$$

$$Z_q \rightarrow Z_b$$

Dichotomie $r_n = \{p, a; q, b\}$.

Die entsprechende Dichotomie existiert, wenn die Überführungsbedingungen

$$\left.\begin{aligned} &(x_{p/a} \wedge \bar{u}_{ep}) \wedge (x_{a/a} \wedge \bar{u}_{ea}) \wedge (x_{q/b} \wedge \bar{u}_{eq}) \wedge \\ &\wedge (x_{b/b} \wedge \bar{u}_{eb}) \neq 0 \quad \text{für } p \neq q \wedge a \neq b \wedge q \neq \\ &\neq a \wedge p \neq b \wedge (p \neq a \vee q \neq b) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

erfüllen.

Liegt eine Universal-Steuermatrix vor (Bild 2), so vereinfacht sich die Bedingung (3) zu

$$\left.\begin{aligned} &x_{p/a} \wedge x_{q/b} \neq 0 \\ &\text{für} \quad p \neq q \wedge a \neq b \wedge q \neq a \wedge p \neq b \wedge \\ &\wedge (p \neq a \vee q \neq b)\,. \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Eine asynchrone Binärsteuerung kann infolge von Wettläufen bei einem Übergang $Z_p \rightarrow Z_a$ nicht in Z_b und bei einem Übergang $Z_q \rightarrow Z_b$ nicht in Z_a übergehen, wenn mindestens eine Zustandsvariable z_i existiert, die während des Übergangs $Z_p \rightarrow Z_a$ den Wert 0 und während des Übergangs $Z_q \rightarrow Z_b$ den Wert 1 hat oder umgekehrt (Beweis siehe [7]).

Dieser Sachverhalt läßt sich mit Zweiblockpartitionen $P(z_i)$ beschreiben [6], bei denen der eine Block nur Zustände mit $z_i = 0$ und der andere Block nur Zustände mit $z_i = 1$ enthält. Eine Zweiblockpartition $P(z_i)$ deckt eine Dichotomie r_n ab (dieses Paar von Übergängen kann zu keinem Fehlverhalten aufgrund von Wettläufen führen), wenn die Zustände des einen Blockes der Dichotomie in einem Block der Zweiblockpartition und die Zustände des anderen Blockes der Dichotomie im anderen Block der Zweiblockpartition enthalten sind:

$$r_1 \quad = \{1, 2 \quad ; 4, 5 \quad \}$$

$$r_2 \quad = \{1, \quad 3; \quad 6, 7\}$$

$$P(z_i) \; = \{1, 2, 3,; 4, 5, 6, 7\}$$

Satz 2:

Eine asynchrone Binärsteuerung kann aufgrund von Wettläufen kein Fehlverhalten zeigen, wenn jede existierende Dichotomie r_n durch mindestens eine Zweiblockpartition $P(z_i)$ abgedeckt ist.

Satz 3:

Deckt eine Zweiblockpartition $P(z_i)$ die Dichotomie $r_n = \{p, a; q, b\}$ ab, so deckt sie die Dichotomien

$$r_{n1} = \{p, p; q, b\} \qquad r_{n2} = \{a, a; q, b\}$$

$$r_{n3} = \{p, a; q, q\} \qquad r_{n4} = \{p, a; b, b\}$$

mit ab.

STM nach Bild 1:

Es existieren insgesamt 24 Dichotomien, von denen aber nur 9 (Satz 3) durch Zweiblockpartitionen abgedeckt werden müssen:

$$r_1 = \{0, 0; 1, 4\} \qquad r_2 = \{0, 1; 2, 2\} \qquad r_3 = \{0, 1; 3, 4\}$$

$$r_4 = \{4, 0; 1, 2\} \qquad r_5 = \{4, 0; 1, 3\} \qquad r_6 = \{4, 0; 2, 3\}$$

$$r_7 = \{1, 2; 3, 4\} \qquad r_8 = \{4, 1; 2, 2\} \qquad r_9 = \{4, 1; 3, 3\}$$

STM nach Bild 2:

Es existiert nur eine Dichotomie

$$r_{10} = \{4, 0; 1, 1\}\,.$$

4. Zusammenhang zwischen Verträglichkeit von Zuständen und der Beseitigung gefährlicher Wettläufe

Existiert die Dichotomie $r_n = \{p, a; q, b\}$, so existieren auch die Unverträglichkeiten $(Z_p \not\simeq Z_q)$, $(Z_a \not\simeq Z_b)$, $(Z_p \not\simeq Z_b)$ und $(Z_q \neq Z_a)$ aufgrund des Vergleichs der Bedingungen (1) bis (3). Für die Dichotomie r_{10} ergibt sich das Unverträglichkeitsdiagramm nach Bild 3b. Ein Vergleich der Diagramme für Verträglichkeit (Bild 3a) und Unverträglichkeit (Bild 3b) zeigt den engen Zusammenhang, der aus den drei getroffenen Einschränkungen (Abschn. 2.) resultiert, und ermöglicht das Ablesen der Verträglichkeiten aus den abzudeckenden Dichotomien. Drei Abdekkungen der Dichotomie r_{10} durch eine Zweiblockpartition sind möglich. Diese drei Zweiblockpartitionen beschreiben genau die drei auswählbaren Zustandsverschmelzungen, die mit einer Speichervariable z_1 auskommen:

Abdeckungen	Zustandsverschmelzungen $z_1 = 0$	$z_1 = 1$
$P_1(z_1) = \{0, 2, 3, 4; 1\}$	$Z_0 - Z_2 - Z_3 - Z_4$	Z_1
$P_2(z_1) = \{0, 2, 4; 1, 3\}$	$Z_0 - Z_2 - Z_4$	$Z_1 - Z_3$
$P_3(z_1) = \{0, 3, 4; 1, 2\}$	$Z_0 - Z_3 - Z_4$	$Z_1 - Z_2$

Zusammenfasssung

Der Bauelementeaufwand einer asynchronen Binärsteuerung spielt bei der Projektierung eine untergeordnete Rolle. Wesentlicher ist eine einfache Notierung, wie sie die Methode PRAP-STAP-STM darstellt. Die notierte STM (Bild 1) muß aber auf ihre Realisierbarkeit geprüft werden (z. B. Stabilität) [4]. Dazu ist es erforderlich, alle „Überläufe" zu beseitigen und technologisch unmögliche Eingangssignale im Dialog Projektant-EDV-Anlage zu bestimmen. Als angenehme Nebenerscheinung tritt dabei auf, daß die Anzahl der Dichotomien abnimmt und Verträglichkeiten aufgedeckt werden. Sollte eine Minimierung des Bauelementeaufwandes doch einmal gefordert sein, so kann ebenfalls im Dialog die Universal-Steuermatrix (Bild 2) als Voraussetzung dafür bestimmt werden.

Literatur

[1] *Killenberg, H.:* Eine Entwurfsmethode für Schaltsysteme auf der Grundlage von Programmablaufgraphen. Dissertation, TH Ilmenau 1973.

[2] *Alder, J.; Strüver, M.:* Prozeßablaufplan und Steuerungsablaufplan zum algorithmischen Entwurf von Steuerungen. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig (1979) H. 27, S. 42–48.

[3] *Trautwein, N.:* Realisierung eines Steuerungsablaufplanes mit RS-Flip-Flops. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig (1979) H. 29, S. 53–59.

[4] *Trautwein, N.:* Notierung und Prüfung von Aufgabenstellungen für Binärsteuerungen im Dialog Projektant – EDV-Anlage auf der Basis von Steuermatrizen. msr 23 (1980) H. 3, S. 147–149.

[5] *Autorenkollektiv:* Darstellung industrieller binärer Steuerungen mit Hilfe von Steuergraphen. ZKI-Informationen 2/1977.

[6] *Hallbauer, G.:* Wettlauffreie Kodierung mit gleichzeitiger Zustandsreduktion bei ungetakteten Folgeschaltungen. EIK 12 (1976) H. 4/5, S. 193–225.

[7] *Tracey, J. H.:* Internal State Assignments for Asynchronous Sequential Machines. IEE Trans. Electron. Comp. EC-15 (1966) No. 10, pp. 551–560.

msr 6900



Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer — 50 Jahre

Am 5. Juni 1980 beging Prof. *Heinz Töpfer* seinen 50. Geburtstag.

Er wurde in Neu-Dobra, Krs. Bad Liebenwerder, geboren und erlernte den Beruf eines Feinmechanikers (1948). Anschließend studierte er an der Ingenieurschule Dresden. Dieses Studium schloß er 1951 ab und begann noch im gleichen Jahr ein Hochschulstudium an der TH Dresden, Fachrichtung Feinmechanik (Prof. *W. Lichtenheldt*). Bereits im Dezember 1955 verteidigte er seine Diplomarbeit. Ab 1956 begann *H. Töpfer* seine Assistententätigkeit am neu gegründeten Institut für Regelungstechnik der TH Dresden bei Prof. *Kindler*. Im Rahmen der Durchführung von Seminaren und Praktika arbeitete er sich zielstrebig in das Fachgebiet ein. Rasch erkannte er, daß auf dem Gebiet der Pneumatik systematische Vorlaufforschung erforderlich war. Diesen Problemen widmete er sich intensiv sowohl an der Technischen Hochschule als auch später im Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik der AdW der DDR. Dort war er maßgeblich am Aufbau einer Abteilung für nichtelektrische Regelungen und Steuerungen als Stellvertreter des Direktors beteiligt.

Seine Forschungsergebnisse führten im Jahre 1963 zur Promotion auf dem Gebiet der Pneumatik. Gleichzeitig wurden diese systematisch zur Entwicklung des Steuerungssystems DRELOBA genutzt, das unter seiner maßgeblichen Mitwirkung und Leitung in bemerkenswert kurzer Zeit entwickelt, in die Produktion übergeleitet und ab 1964 in die industrielle Praxis des In- und Auslandes eingeführt wurde. Dadurch wurden von ihm der Industriezweig Pneumatik und die dazugehörigen wissenschaftlichen Grundlagen in Forschung und Lehre in der DDR wesentlich mitgeprägt. Für diese Arbeiten wurden er und das beteiligte Kollektiv mit dem Nationalpreis II. Klasse ausgezeichnet. Bereits 1961 erhielt *H. Töpfer* einen Lehrauftrag für Regelungstechnik an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg und wurde 1963 mit der Wahrnehmung einer Dozentur (nebenamtlich) beauftragt. Zum 1. September 1967 wurde er zum ordentlichen Professor an die TH Magdeburg berufen. In der Lehre vertrat er dort sowohl die Theorie der Regelung als auch die Gerätetechnik. Von 1968 bis 1972 war er Direktor der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik und anschließend Leiter des Wissenschaftsbereiches Regelungstechnik und Prozeßsteuerung dieser Sektion. Seit September 1978 ist *H. Töpfer* ordentlicher Professor an der TU Dresden und leitet den Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung innerhalb der Sektion Informationstechnik der Technischen Universität. Neben seiner Hochschultätigkeit arbeitet Prof. *Töpfer* in zahlreichen Fachgremien, von denen hier nur einige aufgeführt werden sollen. So ist er seit 1973 Vorsitzender der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT, seit 1974 Vorsitzender des Zentralen Arbeitskreises Steuerungs- und Regelungstechnik des Forschungsrates der DDR, seit 1971 Mitglied des Redaktionsbeirates unserer Zeitschrift. In vielen Buch- und Zeitschriftenveröffentlichungen, Patenten und Vorträgen im In- und Ausland fanden die Ergebnisse seiner bisherigen Arbeiten ihren Niederschlag. Seine Leistungen wurden — neben dem Nationalpreis — durch die Auszeichnungen als Verdienter Techniker und als Held der sozialistischen Arbeit anerkannt, um nur einige zu nennen.

Prof. *H. Töpfer* kommen besondere Verdienste für die Automatisierungstechnik der DDR zu. Deshalb haben einige seiner Schüler und seiner früheren Fachkollegen aus Anlaß seines 50. Geburtstages ein Ehrenkolloquium organisiert.

Das Kolloquium findet als außerplanmäßige Veranstaltung in der Reihe „Dresdener Automatisierungstechnische Kolloquien" statt, die jeweils vom Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung der TU Dresden, dem Bereich Automatisierungstechnik der HfV „Friedrich List" Dresden und den Bereichen Schaltsysteme und Regelungssysteme im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR veranstaltet werden.

Die Fachkollegen, die dieses Kolloquium vorbereitet haben, sind der Meinung, daß Prof. *Töpfer* im Fachgebiet Automatisierungstechnik ein herausragender bzw. sie überragender Wissenschaftler ist, der sich um den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und die Überleitung neuer Ergebnisse in die Praxis gleichermaßen bemüht hat.

Für seine zukünftige Tätigkeit in Lehre und Forschung wünschen seine Fachkollegen und die Redaktion Gesundheit, Schaffenskraft und weiterhin viele Erfolge.

msr 7184 Red.

2. IFAC/IFORS — Symposium „Optimierungsmethoden — angewandte Aspekte"

Das Symposium fand vom 16. bis 19. Oktober 1979 in Varna-Drushba/VR Bulgarien unter Schirmherrschaft der IFAC mit Beteiligung der IFORS statt. Die örtliche Leitung lag in den Händen nationaler technischer Organisationen der VR Bulgarien. Mit etwa 120 Teilnehmern aus 14 Ländern war die Tagung wesentlich schwächer besucht als das 1. Symposium gleichen Themas vor fünf Jahren in Varna-Goldener Sand.

Das wissenschaftliche Programm des Symposiums umfaßte zwei Übersichtsvorträge, 37 Kurzvorträge in 7 Sektionen, eine Podiumsdiskussion sowie zwei technische Exkursionen. Aus den etwa 150 eingereichten Beiträgen waren 51 Arbeiten ausgewählt worden, die als Preprints bei Tagungsbeginn vorlagen; hiervon konnten 14 nicht vorgetragen werden.

Durch Vorträge und persönliche Gespräche wurde insgesamt ein guter Einblick in die gegenwärtigen Schwerpunkte der internationalen Forschung vermittelt. Dem Hauptanliegen der Tagung, durch Betonung der Anwendungsaspekte die Einführung von Optimierungsverfahren in die Praxis zu propagieren und zu fördern, wurden die vorgestellten Beiträge allerdings nur in unterschiedlichem Maße gerecht. Beispiele für die optimale Steuerung realer Prozesse nach theoretisch fundierten Methoden sind nach wie vor selten. Als Ersatz des realen Prozesses wurde häufig die Rechnersimulation zur Rechtfertigung eines vorgeschlagenen Algorithmus verwendet, wobei vielfach offen bleibt, ob das benutzte Modell die Güteforderungen, Randbedingungen und Beschränkungen der Praxis richtig widerspiegelt. Andererseits wurden auch heuristische Steuerungsalgorithmen angeboten, die wegen ihrer sehr losen Beziehung zur existierenden Theorie kaum als optimal zu bezeichnen sind.

Für die Anwendung in der Praxis interessant ist das Bemühen vieler Autoren, durch Vereinfachungen, Einschränkungen u. ä. suboptimale Steuerungsalgorithmen zu erhalten, die leicht berechenbar und realisierbar sind. Dies trifft auch für die von Prof. *Nour-Eldin*/Schweiz in seinem Übersichtsvortrag vorgestellte Methode zu, ein dynamisches Optimierungsproblem durch Beschränkung auf stückweise konstante bzw. lineare Steuergrößen auf ein Problem der mathematischen Programmierung zu reduzieren.

Optimierungsverfahren für komplexe Strukturen wie Mehrebenensteuerungen, dezentralisierte Steuerungen und Komplexe abhängiger Operationen finden auch weiterhin starkes Interesse. Die Podiumsdiskussion unter Leitung von Prof. *Thoma*/BRD, Vizepräsident der IFAC, befaßte sich mit dem Thema „Mehrebenensteuerung". Überraschenderweise fand die große Bedeutung, die den Mikrorechnern bei der Realisierung komplexer Steuerungsstrukturen zukommen wird, in den einschlägigen Vorträgen nicht den entsprechenden Niederschlag.

Zur Optimierung mit mehreren Zielgrößen (Polyoptimierung) gab der zweite Übersichtsvortrag von Prof. *Wierzbicki*/VR Polen einen ausgezeichneten Überblick über den derzeitigen Stand und die künftige Entwicklung, bei der die begründete Entscheidung für ein Element der Kompromißmenge stärkeres Interesse finden wird.

Aus den 7 Fachsektionen kann hier nur über einige bemerkenswerte Beiträge berichtet werden.

Sektion 1: Zeit- und energieoptimale Steuerung

Kacprzak u. a./VR Polen behandelten die energieoptimale Steuerung von Straßenbahnen unter der Voraussetzung geschwindigkeitsabhängiger Zugkräfte. *Chernousko* u. a./UdSSR befaßten sich mit der zeitoptimalen Steuerung eines schwingungsfähigen Systems (Kran, schwappende Flüssigkeit in einem Tank) unter verschiedenen Beschränkungen und Randbedingungen.

Sektion 2: Mehrebenensteuerung

Von *Capkovic*/ČSSR wurde die Dekomposition dynamischer Systeme mittels Aggregation vorgenommen, ohne daß er dabei auf die Ausnutzung der Systemstruktur angewiesen ist. *Sühnel*/DDR stellte eine Vorgehensweise zur autonomen Bekämpfung meßbarer Störungen in gekoppelten statischen Systemen vor und wendete sie auf die ökonomische Lastverteilung eines Elektroenergiesystems an. Keiner der Vorträge dieser Sektion enthielt Hinweise auf neue Koordinationsmethoden.

Sektion 3: Optimale Steuerungssysteme

Doležal/ČSSR stellte einen Zusammenhang zwischen der Polyoptimierung und der Optimierung unter isoperimetrischen Beschränkungen für diskontinuierliche Systeme her und gab notwendige Optimalitätsbedingungen an. Für den linear-quadratischen Fall erhält man eine diskrete Riccati-Gleichung als geschlossene Lösung. Gegenstand des Vortrags von *Petrović* u. a./SFR Jugoslawien war die optimale Steuerung bilinearer Systeme. Durch die Benutzung von Walsh-Funktionen wird das Problem auf ein lineares System algebraischer Gleichungen reduziert.

Sektion 4: Optimierungsprobleme bei Großen Systemen

Leiviskä u. a./Finnland behandelten die tägliche Produktionsplanung des Bleichprozesses von Papierbrei als Problem der dynamischen Optimalsteuerung. Zur Lösung wird der Algorithmus von *Tamura* benutzt. In den Vorträgen von *Ostrowski*/VR Polen und *Rumchev*/VR Bulgarien wurden auf der Grundlage mathematischer Methoden Probleme der optimalen Organisation von und in Arbeitskollektiven untersucht.

Sektion 5: Technologische Prozesse, Parameterschätzung und Optimierung

Für nichtstationäre Systeme entwarfen *Vuchkov* u. a./VR Bulgarien mehrschleifige adaptive Regelalgorithmen, die sich auf Klein- und Prozeßrechnern verwirklichen lassen. An einem Adsorptionsprozeß gewonnene Betriebsergebnisse bestätigen die Überlegenheit der Adaption gegenüber einfachen DDC-Algorithmen. *Stoyanov* u. a./VR Bulgarien berichteten über ein Programmpaket zur Ermittlung statischer Modelle aus Meßdaten mittels statistischer Methoden und zur Optimierung (alle Arten der nichtlinearen Optimierung). Es wurde bereits zur Lösung vieler Aufgaben in der chemischen und metallurgischen Industrie eingesetzt.

Sektion 6: Rechnerische Aspekte der Optimierung

Gatev u. a./VR Bulgarien diskutierten numerisch erprobte Algorithmen zur Lösung global beschränkter Minimumprobleme mit einer erweiterten Simplexmethode (*Nelder/Mead*, 1965), einer Zufallsstrategie (*Himmelblau*, 1972) und für Posynomprobleme (*Duffin*, 1965). *Kirillova* u. a./UdSSR berichteten über eine neue adaptive Methode zur Lösung großer Probleme der linearen Optimierung. Sie benötigt im Durchschnitt weniger Iterationen und nur einen Bruchteil der Rechenzeit des Simplexverfahrens.

Sektion 7: Dezentralisierte LQG-Probleme

Titli/Frankreich beschrieb, aufbauend auf der Theorie der hierarchischen Steuerung und der Methode der singulären Störung, einen Weg zur gleichzeitigen räumlichen und zeitlichen Dekomposition linear-quadratischer Probleme und deren Lösung durch eine Zweiebenensteuerung. *Medanić*/SFR Jugoslawien/USA schlug ein neues Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler vor. Es baut auf Projektionen auf und vermeidet den bekannten iterativen Weg von *Levine* und *Athans* (1970).

Die Preprints zu diesem Symposium sind an der Bibliothek Technische Kybernetik des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden, 8027 Dresden, Haeckelstr. 20, vorhanden.

msr 7131 *H. L. Burmeister/K. Martin*

3. Fachtagung Brand- und Explosionsschutz

„Probleme und erste Anwendungserfahrungen bei der Durchsetzung von TGL 30042 — Verhütung von Bränden und Explosionen" — so lautete das Thema, das der FA „Brand- und Explosionsschutz" (FA BES) für seine Tagung am 13. und 14. Dezember 1979 in Leipzig gewählt hatte. Daß sich der seit 1974 bestehende FA im FV Chemische Technik der KDT, Wissenschaftliche Sektion Arbeitsingenieurwesen, unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. *H. Metzner* (TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg) auch den Belangen der Elektro- und MSR-Technik verpflichtet sieht, ist inzwischen bekannt geworden.

Mehrere der insgesamt 12 Fachvorträge gingen anhand der Festlegungen zur Beurteilung und Klassifizierung von Brand- und Explosionsgefährdungen in TGL 30042 auf die Auswahl elektro- und MSR-technischer Schutzmaßnahmen ein. Berührungspunkte waren die Standards TGL 200-0621/01 bis .../06, „Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten" und TGL 200-0625, „Elektrotechnische Anlagen in Abhängigkeit von der Brandgefährdung". Besonders in den Beiträgen von *Wartner* (VEB Komplette Chemieanlagen Dresden) und *Munke* (Institut für Bergbausicherheit Leipzig, Bereich Freiberg) wurde auf die beispielhafte Koordinierung zwischen den Bewertungskriterien des „primären Explosionsschutzes" in TGL 30042 und des „sekundären Explosionsschutzes" in den Elektrostandards hingewiesen. *Pester* (VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Grimma, BT „IZB" Markkleeberg) ging speziell auf Fragen des Explosionsschutzes bei der Vorbereitung und Durchführung von Investitionen ein. Die Projektanten für Elektro- und MSR-Anlagen sind nur auf der Grundlage des „Gutachtens zur Brand- und Explosionsgefährdung" gemäß TGL 30042 in der Lage, ihre Fachbereichstandards richtig anzuwenden. Das Gutachten muß den Projektanten noch vor der Bearbeitung von bestellreifen Dokumentationen übergeben werden.

Beilicke und *Rietz* (TH „Otto von Guericke" Magdeburg) befaßten sich auch mit solchen Problemen in der Bautechnik, die sich aus den Brandgefährdungsgraden BG 1 bis BG 5 in TGL 30042 für den elektro- und MSR-technischen Brandschutz anhand von TGL 200-0625 ergeben. Sowohl für die Bautechnik als auch für die Elektro - und MSR-Anlagen kann man das Koordinierungsergebnis in diesem Bereich noch nicht als optimal betrachten.

Metzner ergänzte dazu, daß der Begriff „Feuerwiderstand" aus dem bautechnischen Brandschutz auf Kabelkanäle oder -trassen nur sinngemäß angewendet werden sollte. Im Sinne des Havarieschutzes dürfen Kabel- und Leitungskanäle die Brandausbreitung nicht begünstigen.

Spezielle Ersatzlösungen des Brand- und Explosionsschutzes für die Instandhaltung behandelte *Söder* (VEB Chemiekombinat Bitterfeld). TGL 30042, Abschn. 2.4.9., schafft die gesetzliche Grundlage für operative Sicherheitsmaßnahmen bei Störungen, dringenden Instandsetzungen und den Einsatz ortsbeweglicher Transportmittel. Dazu fordert der Standard eine schriftliche Genehmigung des Betriebsleiters. Das Dokument sollte mit Bezug auf TGL 30042 auch den Nachweis führen, daß die „erforderliche Sicherheit durch zeitlich und örtlich begrenzte andersartige Schutzmaßnahmen" real garantiert ist. Als Beispiele wurden die Errichtung einer Blechkapselung um eine nicht explosionsgeschützte Elektroausrüstung erwähnt, um gefährliche Gase durch Frischluftspülung von der potentiellen Zündquelle fernzuhalten, oder der Einsatz von frischluftgespülten Zelten für Arbeitsstellen.

Wer sich für den fachlichen Tagungsinhalt näher interessiert, findet alle Vorträge im Band 5 der Reihe „Brandschutz Explosionsschutz — Aus der Forschung und Praxis" (Staatsverlag der DDR 1981) veröffentlicht.

msr 7152 *J. Pester*

Meß- und Automatisierungstechnik in der Stoffwirtschaft

Die unter dem gleichlautenden Thema veranstaltete Tagung war im Rahmen des 10. Wissenschaftlichen Kolloquiums der Sektion Anlagenbau an der Ingenieurhochschule Köthen im Oktober 1979 veranstaltet worden. Verantwortlich für die Durchführung zeichneten der Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik der IH Köthen und die Betriebssektion der KDT des Orbitaplast Gölzau. Aufgrund der Resonanz ist geplant, die Veranstaltung zur gleichen Thematik turnusmäßig auszurichten.

Die Vortragsfolge umfaßte zwei Komplexe

— Meß- und automatisierungstechnische Aufgaben im Chemieanlagenbau und in der Verfahrenstechnik
— Steuerung von Extrusionsprozessen.

Nachfolgend werden die Kurzreferate zum 1. Komplex in der Reihenfolge des Tagungsprogramms wiedergegeben. Der 2. Komplex wird in der Zeitschrift „Plaste und Kautschuk" veröffentlicht.

Einfluß der Zuschläge nach der „sicheren Seite" bei der Projektierung von Pumpen, Apparaten und Rohrleitungen auf die Projektierung der Automatisierungseinrichtungen

Prof. Dr. sc. *R. Müller*, TH Leipzig

Die Automatisierung setzt sich wirkungsmäßig aus Informationserfassung, -verarbeitung und Stelleingriff zusammen. Die richtige Projektierung der Automatisierungsausrüstung erfordert Angaben über den zu automatisierenden Prozeß. Die Bereitstellung dieser Daten im Projektstadium ist problematisch. Ein wesentlicher Teil ist nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bereitzustellen. Weitere notwendige Angaben werden in der gegenwärtigen Praxis überhaupt nicht bereitgestellt.

Bei der Informationserfassung handelt es sich um für den Prozeß interessante Parameter, meistens Zielgrößen der Prozeßführung, demzufolge ist meist der Aufgabenwert der Meßgrößen relativ gut bekannt. Außerdem haben moderne Meßumformer Einstellmöglichkeiten für den Meßbereich (Meßbereichslage und -umfang), so daß ohne Änderung der Ausrüstung in gewissem Umfang eine Anpassung möglich ist, wenn sich herausstellt, daß die im Projekt angenommenen Werte fehlerhaft waren.

Als Basis für die Konzeption der Informationsverarbeitung sind unter anderem Informationen über die Dynamik des zu automatisierenden Prozesses wesentlich. Hier gibt es beträchtliche ungelöste Probleme, die Weiterentwicklung der Automatisierungsgeräte schafft aber neue bessere Anpassungsmöglichkeiten, so daß sich hier eine günstige Entwicklung abzeichnet.

Die Stellglieder müssen unmittelbar in den Prozeß einbezogen werden. Die Einstellmöglichkeit der Stellglieder wird als Stellbereich zum Ausgleich von Störungen benötigt. Muß ein Teil der Einstellmöglichkeit zum Ausgleich von Fehldimensionierung verwendet werden, so geht das dem Stellbereich verloren, und die Automatik kann ihre Aufgabe schlechter oder unzureichend erfüllen. Eine Anpassung der Stellglieder ist begrenzt und nicht in allen Fällen durch Austausch der Innengarnituren (Sitz und Kegel) möglich. Das Referat befaßte sich speziell mit dem Problem der Stellglieder.

Basisautomatisierungskatalog als Hilfsmittel bei der Projektierung

Prof. Dr. sc. *G. Brack*, TH Leuna-Merseburg

Unter „Basisautomatisierungskatalog" werden diejenigen Regelkreise, Steuerungen und Prozeßsicherungssysteme verstanden, die in nicht zu komplizierten Fällen eine sichere Beherrschung von Prozeßeinheiten gestatten. (Strukturen der Basisautomatisierung werden dann nicht mehr ausreichen, wenn entweder das (dynamische) Verhalten der Prozeßeinheiten sehr kompliziert ist oder sehr hohe Güteforderungen gestellt werden müssen.)

Die Strukturen der Basisautomatisierung hängen ab von der betrachteten Prozeßeinheit, ihrer Kopplung mit der Umgebung sowie den für den Betrieb gestellten Güteforderungen.

Für die wichtigsten verfahrenstechnischen Prozeßeinheiten und einige angrenzende Gebiete wurden die Basisautomatisierungsstrukturen in Katalogform zusammengestellt, um einen Wissensspeicher zur Rationalisierung des

Entwurfs und der Projektierung von Automatisierungsanlagen zur Verfügung zu haben.
Die Grundideen für den Aufbau des Katalogs und seine praktische Realisierung wurden erläutert.

Statisches Verhalten von Druckregelstrecken und Fragen der automatisierungsgerechten Anlagengestaltung
Dr.-Ing. *W. Bettenhäuser*, TH Leipzig

Exakte Kenntnisse zur Auswahl von Elementen von Regelstrecken einschließlich der Stellglieder liegen streng genommen nur für Durchflußregelstrecken vor. Die Forderung nach Linearität der statischen Kennlinien, aber auch der Berücksichtigung von Störgrößeneinflüssen und die damit verbundene Forderung nach nur geringfügiger Änderung der Übertragungsfaktoren im Störungsfall ist aber für alle anderen Regelstrecken von gleich großem Interesse. Im Vortrag wurde eine Methode zur Berechnung des statischen Verhaltens von Druckregelstrecken dargestellt und mit experimentellen Methoden verglichen. Verallgemeinerungen wurden dargestellt. Der Zusammenhang mit Fragen der Struktur der Regelstrecke und den Forderungen von Anlagenprojektanten und Betreibern wurden diskutiert. Es wurden aber auch Forderungen an die zweckmäßige Struktur und Ausrüstung der Regelstrecken gestellt.

Automatisierung luft- und kältetechnischer Anlagen unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes der Mikroelektronik
Dipl.-Ing. *W. Großmann*, ILK Dresden

Die Regelung von Klimaanlagen ist von Grund auf eine Regelung mit einem hohen Verknüpfungsgrad. Er ist gegeben durch:
— die Zweifachregelung mit mehrfacher Kopplung in der Regelstrecke,
— die unterschiedlichen Energieträger für Heizen und Kühlen sowie Befeuchten und Entfeuchten,
— die zur Realisierung energiewirtschaftlicher Fahrweisen zusätzlichen Stellvorgänge und überlagerten Steuerungen.

Der Realisierung von Regeleinrichtungen in konventioneller Technik für Klimaanlagen sind aufgrund des vertretbaren technischen Aufwandes und der erreichbaren Zuverlässigkeit Grenzen gesetzt, die den Anforderungen der Verbesserung der energiewirtschaftlichen Fahrweise nicht mehr genügen. Durch den Einsatz mikroelektronischer Bausteine ist eine Erhöhung des Verknüpfungsgrades, die Vereinfachung der Hardware und die Steigerung der Zuverlässigkeit gegeben.
Die Anforderungen an einen Mikrocontroller für Klimaanlagen wurden umrissen.

Binäre Prozeßanalyse als Verfahren zur Projektierung von Steuerungen
Dipl.-Ing. *J. Alder*, TH Leipzig

Die systematische Aufbereitung eines durch Binärsteuerung zu automatisierenden Prozesses stellt das Bindeglied zwischen dem Verfahrensingenieur, Apparatebauer oder Maschinenkonstrukteur und dem Steuerungsprojektanten dar. Die binäre Prozeßanalyse leistet darüber hinaus noch in ihrem Ergebnis eine exakt formulierte Aufgabenstellung zum Entwurf der Binärsteuerung unter Beachtung der Prozeßmeß- und Stelltechnik und notwendiger Sicherheitsbedingungen.

Beschreibung des dynamischen Verhaltens statisch nichtlinearer Systeme, gezeigt am Beispiel eines Prallblechmeßgerätes
Dipl.-Phys. *M. Horn*, KIB Leipzig; Doz. Dr. *J. Wilke*, IH Köthen

Mit dem vorgestellten Rechenverfahren kann der Ausgang allgemeiner linearer Glieder und statisch nichtlinearer Glieder der Regelungstechnik bei beliebigem Eingang berechnet werden. Die Berechnung erfolgt direkt aus der Übergangsfunktion des linearisierten Gliedes und der statischen Nichtlinearität, ohne daß die Differentialgleichung aufgestellt und deren Koeffizienten durch Anpassung bestimmt werden müssen. Die Übergangsfunktion und die statische Nichtlinearität können in das im VEB CLG vorhandene Rechenprogramm sowohl punktweise als auch in analytischer Form in Abhängigkeit von zwei Parametern eingegeben werden.
Die Nutzung des Rechenverfahrens zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Regelkreisgliedern wurde am Beispiel eines Prallmeßblechgerätes zur Messung von Schüttgutströmen gezeigt.

Einsatz der Mikroelektronik bei der Lösung von Meßaufgaben
Doz. Dr. sc. *H. Gatzmanga*, IH Köthen

Prozeßmeßeinrichtungen stellen bis zu 50% aller zur Automatisierung technologischer Prozesse notwendigen Einrichtungen dar, wobei sich diese wiederum auf die Meßgrößen, Temperatur, Volumenstrom, Druck, Füllstand und Konzentration mit einem Anteil von etwa 80% zum Gesamtanteil aller Prozeßmeßeinrichtungen konzentrieren. Damit ist eine Aussage zu diesen Meßgrößen weitgehend repräsentativ für das Gesamtsortiment von Einrichtungen der Prozeßmeßtechnik.
Ausgehend von den typischen Kenngrößen, die das Gebrauchswertverhalten der Meßeinrichtung für den Anwender bestimmen, wurde der Einfluß von Mikrorechnern auf diese Kenngrößen anhand von Schätzwerten dargestellt. Das Referat gab sowohl einen Überblick über intern eingebundene Mikrorechner als auch über extern angekoppelte Mikrorechner.
Es wurde der konzeptionelle Weg gezeigt, wie Mikrorechner die meßeinrichtungsinternen Aufgaben lösen, wobei sich die Angaben nicht nur auf die Meßsignalverarbeitung beziehen, sondern auch auf erste Mikrorechneranwendung in Meßgrößenumformern.

Beitrag zur Prozeßidentifikation technologischer Anlagen
Dr. *J. Breier*, Dr. *H. Kathe*, Dipl.-Ing. *K. Mehner*, IH Köthen

In vielen praktischen Fällen läßt sich die mathematische Beschreibung eines technologischen Prozesses mit vertretbarem Rechenaufwand durch ein Polynom vornehmen. Es wurde an durchgeführten Beispielen gezeigt, wie bei bekannter Varianz der gestörten Meßfunktion nicht nur der Koeffizientenvektor des Approximationspolynoms, sondern auch seine Ordnung iterativ bestimmt werden kann. Dabei ist das mathematische Problem der Regularisierung einer inkorrekt gestellten Aufgabe, das sich durch die freie Wahl der Ordnung des Polynoms im Approximationsalgorithmus ergibt, zu lösen. Es folgten Angaben über den ausgearbeiteten Rechenalgorithmus.

msr 7157 *J. Breier*

Rechentechnisches Kolloquium „Prozeß-/Mikrorechentechnik und Prozeßsimulation"

Am 15. November 1979 veranstaltete der Bereich Analog- und Prozeßrechentechnik des Organisations- und Rechenzentrums der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg ein Rechentechnisches Kolloquium zum o. a. Thema.
Im ersten Übersichtsvortrag beschäftigte sich *G. Reinemann* (THLM) mit der rechnerorientierten Anlagenautomatisierung zur Unterstützung von Forschung und Lehre an einer technologisch orientierten Hochschule. Neben theoretischen Verallgemeinerungen berichtete er über mehrjährige Erfahrungen des Bereiches Analog- und Prozeßrechentechnik bei der Realisierung verschiedener Einsatzfälle an der TH Leuna-Merseburg. *D. Balzer* (TH Leipzig) betrachtete im zweiten Übersichtsvortrag den Einsatz der Mikroprozeßrechentechnik in Automatisierungsanlagen. Dabei leitete er die Aufgaben der Mikroprozeßrechnetechnik bei der Prozeßstabilisierung, Prozeßsicherung und Prozeßoptimierung aus den Eigenschaften verfahrenstechnischer Systeme ab und arbeitete den Einfluß der Mikrorechentechnik auf die Entwicklung hierarchischer Automatisierungsstrukturen heraus.
Anschließend wurden in 2 Sektionen ausgewählte Probleme der Prozeß-/Mikrorechentechnik und Prozeßsimulation behandelt. Die Vorträge von *P. Metzing*/ *G. Grau*/*P. Schwarz* (VEB Leuna-Werke/ Hydrierwerk Zeitz) und *H. G. Drößiger*/ *J. Rybak*/*B. Werner* (PCK Schwedt) beschäftigten sich mit Erfahrungen bei Prozeßrechnerapplikationen zur Rationalisierung von Verlade- und Versand-

prozessen bzw. der Steuerung von Erdölverarbeitungsanlagen. Wesentliche Aspekte waren dabei die Anlagenzuverlässigkeit, ein anspruchsvolles Konzept des Kommunikations- und Informationssystems sowie die erreichten ökonomischen Effekte. Im Vortrag von *F. Rümmler/P. Schaarschmidt/U. Wloka* (THLM) wurde der Einsatz von Taschenrechnern (Konkret-Serie) als einfaches prozeßnahes Terminal vorgestellt. Eine geeignete Koppelelektronik gewährleistet den Anschluß mehrerer Taschenrechner an die Anlage ursadat eines KRS 4200 und ermöglicht die Führung eines einfachen Dialogs bei Austausch begrenzter Datenmengen in beiden Richtungen. *F. Busch* (THLM) stellte Hardware, Software und Einsatzerfahrungen beim Simultanbetrieb von 4 Gaschromatographen an einem KRS 4200 vor. Im Vortrag von *M. Kirsch/P. Schaarschmidt/H. Scheubeck* (THLM) wurden 5 Praktikumsversuche des Mikrorechnerpraktikums der TH Leuna-Merseburg zur Aus- und Weiterbildung von Praxiskadern beschrieben. *H. Große* (THLM) berichtete über erste Erfahrungen bei der Steuerung eines Rührkesselreaktors mit Hilfe eines Mikrorechners unter Technikumsbedingungen. In der Sektion „Prozeßsimulation" lag der Schwerpunkt bei der Simulation verfahrenstechnischer Systeme. Von *W. Krug/G. Buhle* (IH Köthen) wurden Anforderungen an die digitale Simulation zusammengestellt und ein Überblick über vorhandene oder konzipierte Programmsysteme und ihre Anwendung gegeben. *R. Große* (THLM) beschrieb ein Simulationssystem für die studentische Ausbildung, bei dem der Strukturaufbau des Objektes (statisches Modell) mit Hilfe eines „Technologischen Steckfeldes" erfolgt. *U. Böhme/D. Friesecke* (THLM) beschäftigten sich mit der praxisnahen Simulation von Systemen, bei denen der KRS 4200 u. a. zur direkten digitalen Regelung eines kontinuierlichen Prozesses dient. Dazu wurde von ihnen ein DDC-Programmsystem für einen Hybridrechner angepaßt. In den Vorträgen von *C. Bode/W. Hohnstädter* (KMU Leipzig/ZIM Leipzig) sowie von *J. Dobert* (THLM) wurde gezeigt, wie mit Hilfe eines Hybridrechners spezielle dynamische Probleme, wie die Optimierung von Reaktor-Ausbrennprozessen bzw. Modelluntersuchungen zur Auslegung eines Vibrationsverdichters, vorteilhaft gelöst werden können. Das nächste Rechentechnische Kolloquium des ORZ der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, ist für 1981 geplant.

msr 7139 *D. Friesecke, J. Körnig, U. Wloka*

Erste Fachtagung des BFA Mikroelektronik Berlin

Die Bezirksfachsektion Elektrotechnik beim Bezirksvorstand Berlin der KDT und der Bezirksfachausschuß (BFA) Mikroelektronik führten im September 1979 im Museum für Deutsche Geschichte eine Tagung zum Thema „Moderne Schaltkreissysteme und ihre Anwendung in Geräten und Einrichtungen der Automatisierungstechnik" durch. Die Veranstalter verfolgten mit dieser Tagung das Ziel, einen umfassenden Überblick über den Stand der Mikroelektronik in der DDR zu geben.

Nach einer Einführung durch den Vorsitzenden des Konsultationsstützpunktes Mikroelektronik Berlin, Prof. Dr. *Weller*, wurden folgende Themen behandelt:

— Komponenten von 8 bit-Mikroprozessorsystemen der 2. Leistungsklasse (TU Dresden)
— Aufbau und Wirkungsweise des Mikrorechnersystems K 1520 (AdW der DDR)
— Einsatz der Mikroprozessor- und Mikrorechentechnik in Geräten und Einrichtungen der Automatisierungstechnik (Institut für Regelungstechnik im VEB Kombinat EAW Berlin)
— Programmierbare Steuerung PS 2000 — Moderne Steuerungen für Be- und Verarbeitungsmaschinen auf der Basis der Mikroelektronik (VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt)
— Baugruppensystem ursalog 4000 (Institut für Regelungstechnik).

Im Beitrag über das Mikrorechnersystem K 1520 wurde von Dr. *H. Bäurich* die Grundstruktur und die Einsatzmöglichkeiten dieses Systems erläutert. Typische Einsatzmöglichkeiten sind

— Steuerung von Verarbeitungsmaschinen
— Prozeßsteuerung im Fertigungsbereich
— Meßwerterfassung und -verarbeitung
— Steuerung von peripheren Geräten und Datenübertragungen.

In einem Rechnernetz kann das System nahezu alle Steuerungsfunktionen (z. B. als Netzknotenpunkt, Auftragsprozessor, Datenprozessor und in der Gestaltung des Entwicklungssystems MRES 20 als Terminalsystem) übernehmen. Nach der Aufzählung der logischen Einheiten wurde die Struktur von Rechen- und Steuerwerk beschrieben. Der Hauptteil des Vortrages behandelte den Befehlsaufbau des Prozessors, die Befehlsliste und die Bus-Struktur des Mikrorechnersystems K 1520. Die Signale zur Steuerung der angeschlossenen Einheiten durch den Prozessor beim Steuer-Bus wurden von Dr. *Bäurich* ebenfalls erläutert.

Im Beitrag über Mikroprozessoren in der Automatisierungstechnik befaßte sich Dr.-Ing. *Schöpflin* mit der Frage, ob die Mikroelektronik ein auslösender Faktor für gravierende Veränderungen in der Geräte- und Anlagentechnik ist, zumal ein Viertel aller Mikroprozessorschaltkreise in der Automatisierungstechnik eingesetzt werden sollen. In der DDR wird dies durch die Gerätesysteme der Informationsverarbeitung und -übertragung des Systemzweigs ursatron realisiert. Mit der Bereitstellung von Mikroprozessoren und Mikrorechnern kommen neue Einsatzmöglichkeiten in der MSR-Technik hinzu. Allerdings muß sich hierbei der sog. Grundaufwand auf der Basis einer hohen Losgröße lohnen.

Ausgehend von dieser Betrachtung ergeben sich folgende Bereiche:

— Festverdrahtete Baugruppen (bei geringer Anzahl von Ein- und Ausgängen)
— Mikroprozessoren/Mikrorechner (bei einer bestimmten Anzahl von Ein- und Ausgängen)
— Prozeßrechner (bei mehr als 200 Ein- und Ausgängen).

Der Vortragende wies schließlich auf die neuen Möglichkeiten des Entwurfs programmierbarer Gerätetechnik für die Entwicklung und Systemtechniker hin, bei denen jedoch auch ein „software-orientiertes" Denken vorausgesetzt werden müsse.

Einflüsse auf die Automatisierungstechnik sind nach Ansicht des Autors:

1. Änderung der Aufbauprinzipien (digital statt analog arbeitende Geräte)
2. Änderung der Informationseingabe und -ausgabe sowie der Informationsdarstellung
3. Verbesserung der Zuverlässigkeit
4. Hohe Gebrauchswerteigenschaften.

Abschließend wurden im Vortrag Geräte und Einrichtungen erläutert, bei denen mikroelektronische Bauelemente eingesetzt werden: Programmierbare Zentralen (ursatron 4000), speicherprogrammierbare Steuerungseinrichtungen.

Im Vortrag über die Steuerung PS 2000 ging Dr.-Ing. *Bartsch* von den verschiedenen Steuerungsarten von Be- und Verarbeitungsmaschinen aus:

— Nichtnumerische Steuerung (NNC); kontaktbehaftete Schaltglieder werden zunehmend durch speicherprogrammierte Formen abgelöst.
— Numerische Steuerung (NC); variabel programmierbare Achsenbewegungen und kontinuierliche Lage-Rückmeldung. Alle neuen Steuerungen werden als Rechner-NC (CNC) mit speicherprogrammierbarer Logik angeboten. Hierbei unterscheidet man
  • INC mit festen Algorithmen (ROM, EPROM)
  • CNC mit regenerierbaren, vom Hersteller festgelegten Parametern
  • CNC mit freier Programmierung (RAM).

Der Vortragende beschrieb anschließend die Steuereinrichtung CNC 600 (s. hierzu msr **22** (1979) H. 10, S. 575). Abschließend wurden von Dr. *Bartsch* Trenderwartungen vorgetragen. Zusammenfassend wurden genannt:

— Kompaktbauweise mit Hilfe hochintegrierter Speicher
— getastete Netzteile, geringere Anzahl unterschiedlicher Versorgungsspannungen
— breitere Anwendung der MOS-Technologien
— Konsolidierung der Bauelemententwicklung; Steuerung des Angebots

(Fortsetzung auf Seite 345)

Zur Geschichte der Regelungstechnik [1]

IA 6.1.

Einführung

Der Beitrag ist als orientierender Überblick über wesentliche Fakten zur Geschichte der Regelungstechnik gedacht. Sicher wird der eine oder andere Leser diesen oder jenen Fakt als wesentlich hinzufügen wollen oder diesen oder jenen hier aufgeführten Fakt nicht für wesentlich halten. Das ist für das Anliegen der Bearbeiter nicht entscheidend. Nach entsprechenden Beratungen im FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" der WGMA und nach der Erarbeitung eines umfangreichen Quellenverzeichnisses wurde ein chronologisch geordnetes Literaturverzeichnis aufgestellt und daraus eine Fakten-Tabelle abgeleitet (Tafel). Die große Anzahl der Fakten läßt in diesem Beitrag eine ausführliche Beschreibung nicht zu. Tafel, Literaturverzeichnis und erläuternder Text sind daher so angelegt, daß sie demjenigen, der in bestimmte einschlägige historische Gebiete tiefer eindringen will, konkrete Orientierungshinweise geben.

Erläuterungen

Schon seit dem Altertum gibt es technische Regelungseinrichtungen. Vereinzelte Quellen berichten darüber [98]. Zusammenhängende Konturen zur historischen Entwicklung der heutigen Regelungstechnik lassen sich etwa bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zurückverfolgen.

[1] Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, und dem FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" der WGMA.

Die ursprünglichen Regler (frühere Bezeichnung „Regulatoren") waren direktwirkende (T/1)[2]) P-Regler (T/2).

[2] Hinweis auf die laufende Nummer in der Tafel.

Polsunov hatte 1765 einen „Dampfkesselregler" (T/3) konstruiert, der eine frühe Ausführung der heute noch aktuellen Niveauregler darstellt [94].

Mit der Einführung des Fliehkraftreglers an Dampfmaschinen (T/4) im Jahre 1788 hatte *Watt* der Maschinenregelungstechnik des 19. Jahrhunderts das Ge-

Tafel. Überblick zur historischen Entwicklung der Regelungstechnik vom 18.—20. Jahrhundert
× Beginn des jeweiligen Publikationszeitraumes aufgeführter Fakten

Lfd. Nr.	Fakt	1600... ...1700	1700... ...1800		1800... ...1900				1900... ...2000			
	(Viertel d. Jh.)	III	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Direkt wirkende Regler	×										
2	P-Regler	×										
3	Dampfkesselregler		×									
4	Fliehkraftregler an Dampfmaschinen			×								
5	Pneumatische Regler				×							
6	Hydraulische Regler					×						
7	Thermostaten					×						
8	Widerstands-, Bremsregler					×						
9	Indirekt wirkende Regler					×						
10	Mehrläufige Regler					×						
11	Statische Reglerbeschreibung					×						
12	Dynamische Reglerbeschreibung					×						
13	Regelkreisbetrachtungen						×					
14	Stabilitätsbedingungen						×					
15	Ungleichförmigkeitsgrad						×					
16	Astatische Regler						×					
17	Rückführung						×					
18	Elektromagnetische Regler						×					
19	Elektromotorische Regler						×					
20	Linearisierung							×				
21	Zustandsbetrachtungen							×				
22	Kybernetische Ideen							×				
23	Grafische Reglerbeschreibung							×				
24	Begriff „Zeitkonstante"							×				
25	PD-Regler							×				
26	PI-Regler							×				
27	Beharrungsregler							×				
28	Nichtlineare Probleme							×				
29	Programmregler							×				
30	Leistungsregler							×				
31	Unstetige Regler								×			
32	Nachgebende Rückführung								×			
33	Schiffskurssteuerungen								×			
34	Elektronenröhre								×			
35	Verstärkungsregler									×		
36	Strahlrohrregler									×		
37	Flugzeugkurssteuerung									×		
38	Begriffsstandardisierung									×		
39	Matrizenanwendung									×		
40	Begriff „Kybernetik"									×		
41	Transistor									×		
42	PID-Regler									×		
43	Einheitsregler										×	
44	Mikroelektronik										×	

(Fortsetzung von Seite 344)

neuer Bauelemente mit dem Ziel, des breiteren Einsatzes vorhandener Bauelemente

— breitere Anwendung der Mikroelektronik in bisher herkömmlicher gesteuerten Maschinen
— Vormarsch der Leistungselektronik
— größere Speicherkapazität der bei CNC zum Einsatz kommenden Rechner
— Verbesserung der Inbetriebnahme- und Diagnosetechniken.

Im Vortrag über das Baugruppensystem ursalog 4000 von Dipl.-Ing. *Gottschalk*, vorgetragen von Dipl.-Ing. *Bunzel*, wurden ausgehend von den funktionellen Parametern die für dieses System entwickelten Schaltkreise KTSE (kurzschlußfester Treiberschaltkreis) und ASSK (Antriebssteuerschaltkreis) beschrieben. Der erstgenannte Schaltkreis enthält drei Verknüpfungsglieder mit 1, 2 und 3 direkten Eingängen und je einem negierten Eingang. Die Steuerung des 1-Signal-Pegels ermöglicht den Übergang auf Schaltkreise und Baugruppen anderer Systeme. Lichtemitterdioden werden nach der Farbzuordnung des neuen TGL-Entwurfs 12468 zur Signalkontrolle eingesetzt. Besonderes Interesse fanden die Ausführungen über das Sortiment des Systems hervor. (s. hierzu: Der VEM-Elektro-Anlagenbau **15** (1979) H. 1). Zum Schluß erörterte der Vortragende die Einsatzmöglichkeiten, wie die Steuerung von Kraftwerken, Zementwerken, Chemieanlagen, Textil-, Be- und Verarbeitungsmaschinen. Die hohe Stör- und Zerstörfestigkeit ermöglicht die Intallation in der Nähe von Antrieben und Schaltgeräten sowie eine unkomplizierte Verdrahtung.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß über die dargebotenen Fachvorträge für Spezialisten und Anwender der Mikroelektronik hinausgehend ein Überblick zum Fachgebiet gegeben wurde, wobei in einigen Fällen die spezifischen Probleme des Territoriums herausgestellt worden sind. Das in diesem Jahr begonnene langfristige Weiterbildungsprogramm sowie die zahlreichen Vortragsveranstaltungen im Berliner Raum werden dazu beitragen, die Zielstellungen in der Anwendung der Mikroelektronik zu verwirklichen.

msr 71761 *H. Weichardt*

präge gegeben [98]. Eine erste Beschreibung über Fliehkraftregler überhaupt ist von *Hachette* bekannt [1]. Einiges zur Anwendung des Dampfmaschinenfliehkraftreglers hatte schon *Borgnis* 1818 erwähnt [2]; ebenfalls wie *von Langsdorf* [7] hatte *Borgnis* auf die bereits früher gebräuchliche Verwendung fliehkraftgeregelter Wasserräder hingewiesen.

Weitere konstruktive Ausführungen von Reglern der damaligen Zeit werden z. T. ohne nähere Erläuterungen in historischen Berichten erwähnt. So soll z. B. im Jahre 1820 in London eine Straßenbeleuchtung mit einer pneumatischen Regeleinrichtung (T/5) [3] in Betrieb genommen worden sein. Ein Regler mit Blasebalg soll von *Moliné* stammen [9].

Schpakowski soll 1866 einen Regler für einen düsenbeheizten Dampfkessel entwickelt haben, der die Brennstoffzufuhr in Abhängigkeit vom Kesseldampfdruck einstellte [19].

Aus dem zweiten Viertel des 19. Jahrhunderts liegen schon eine größere Anzahl ausführlicherer Berichte und erste theoretische Abhandlungen zur Regelungstechnik vor.

Ein hydraulischer Regler (T/6) von *Preus* [5] bestand aus zwei in unterschiedlicher Höhe installierten Wasserbassins, deren Niveauunterschied zur Regelung einer Maschine genutzt wurde. Entsprechend ihrer Drehzahl pumpte die zu regelnde Maschine Wasser aus dem unteren in das obere Bassin, in Abhängigkeit vom oberen Niveaustand wurde die Energiezufuhr zur Maschine gesteuert.

Später folgten Beiträge zur Regulierung hydraulischer Motoren, von denen z. B. der 1906 von *Burdau* verfaßte zu erwähnen ist [52].

Temperaturregelungen mit Thermostaten (T/7) sind seit 1830 bekannt [8]. Widerstands- bzw. Bremsregler (T/8) waren Vorrichtungen zur automatischen Begrenzung des Drehzahlzuwachses an Kraftmaschinen. Sie begrenzten die obere Drehzahl durch Vernichtung überschüssiger Rotationsenergie.

Eine frühe Ausführung eines Widerstandsreglers war der Windflügelregler von *Poncelet* [4]. Hierbei handelte es sich um Flügel, die von der zu regulierenden Maschine zusätzlich mitgedreht wurden. Die Flügel standen quer zu ihrer Bewegungsrichtung und erzeugten so je nach Drehgeschwindigkeit aufgrund des von ihnen zu überwindenden Luftwiderstandes eine mehr oder weniger große, bremsende Zusatzbelastung der Maschine. Windflügelregler sind heute noch gelegentlich anzutreffen (z. B. in Schlagwerken von Uhren).

Stärkere Wirkungen hatten Bremsregulatoren. Sie enthielten Bremsbacken, die, von Fliehkraftreglern gesteuert, gewünschte Bremsungen der zu regelnden Maschine herbeiführten [100]. Derartige Bremsregler fanden etwa bis 1905 Verwendung, und zwar für Bremsleistungen von 15 bis 100 kW.

Eine erste Beschreibung über indirekt wirkende Regler (T/9) liegt von *Jastrshembski* aus dem Jahre 1846 vor [11]. Darin werden Grundlagen zur Parameterauswahl für Regler mit mechanischer und hydraulischer Momentenverstärkung behandelt. Indirekt wirkende Regler spielten seit dieser Zeit bei verschiedenen Autoren eine Rolle, z. B. bei *Wischnegradski* [29], *Grashof* [34], *Proell* [35], *Wosnessenski* [60], *Schmidt* [75].

Mehrläufige Regler (T/10) haben ihre Ursprünge bereits bei *Poncelet*. Er hatte eine Störgrößenaufschaltung entworfen, die den Energiezufluß einer Kraftmaschine von der Belastung durch ihre Arbeitsmaschine unabhängig macht [4]. *Pfarr* gab 1908 einen Bericht über die Einführung einer Doppelregelung [54]. Die Einführung erster Störgrößenaufschaltungen und Hilfsgrößenregelungen in der chemischen Industrie nahm *Weis* 1938 im Leuna-Werk vor [80]. Von *Wosnessenski* existiert ebenfalls aus dem Jahre 1938 eine Abhandlung über eine Maschinenregelung mit einer großen Anzahl zu regelnder Parameter [79]. Systematische Untersuchungen zu Mehrgrößenregelsystemen führte u. a. *Mesarovic* 1960 durch [96].

Poncelets Beschreibungen behandeln außer Störgrößenaufschaltungen auch Bremsvorrichtungen, Regler, Schwungräder und Getriebe. *Tredgold* verfolgte ähnliche Aspekte [6]. Die Arbeiten beider Autoren sind sehr ausführlich und waren über lange Zeit bedeutend.

Reuleaux nahm eine Einteilung der Regler in „tachometrische" und „dynamometrische" Regulatoren vor [13]. Mit der ersten Kategorie meinte er Regler, die infolge lastabhängiger Geschwindigkeitsänderungen der betreffenden Maschine wirksam werden. Die zweite Kategorie umfaßte Regler, deren Wirkungsursache die gleiche ist wie die ihrer Lastwiderstandsänderungen (Störgrößenaufschaltung) oder deren Wirkung durch erfolgte Lastwiderstandsänderungen eintritt.

Erste analytische Darstellungen zur Regelungstechnik waren statische Theorien (T/11), z. B. 1846 von *Jastrshembski* [11]. Diese reichten aber bald nicht mehr aus; dynamische Reglerbeschreibungen (T/12) machten sich notwendig. *Airy* soll 1839 die Bewegung eines Fliehkraftreglers mit einer Differentialgleichung erfaßt haben [10]. *Lüders* wies 1865 darauf hin [16], daß Regler im gestörten Gleichgewicht, also in ihren Übergangsvorgängen, zu betrachten seien. Sein theoretischer Ansatz lautet:

$$\frac{1}{2} M(v^2 - v_0^2) = \int_{p_0}^{p} P \, dp - \int_{q_0}^{q} Q \, dq$$

M Trägheitsmoment; v Winkelgeschwindigkeit; $\int P \, dp$ Energie der Antriebsmaschine; $\int Q \, dq$ Energieverbrauch der Belastung

Lösen konnte *Lüders* die Gleichung nicht, er benutzte sie lediglich für Diskussionen.

Maxwell stellte 1868 eine lineare Differentialgleichung 3. Ordnung für einen geschlossenen Regelkreis (T/13) mit P-Regler (Fliehkraftregler) auf [20]. Seine Lösung und die zugehörige Hauptgleichung lauten:

$$x = A_1 e^{n_1 t} + A_2 e^{n_2 t} + A_3 e^{n_3 t} + Vt$$

$$MBn^3 + (MY + FB)\, n^2 + FYn + FG = 0$$

M Trägheitsmoment; B Bewegungsstück (Hülse des Reglers); Y Koeffizient (Viskosität und andere Widerstände betreffend); F Koeffizient; G Widerstand, bezogen auf B bei dessen Bewegung; V Sollwert der Geschwindigkeit

Daraus leitete er Stabilitätsbedingungen (T/14) ab. Umfassende Ausführungen über Stabilitätsbedingungen hat 1877 *Routh* gemacht [28]; er behandelte Stabilität und Aperiodizität der Gleichung 3. Ordnung. *Wischnegradski* hat 1877 ein sehr aussagefähiges Stabilitätsdiagramm angegeben [27]. *Hurwitz* hat auf Anregung *Stodolas* eine mathematische Methode zur Ermittlung von Wurzelkriterien entwickelt [45]. Auch von *Bode* liegen Berichte über Differentialgleichungen und Wurzelkriterien aus dieser Zeit vor [15] und [17].

Die Weiterentwicklung der Stabilitätskriterien bis zur Gegenwart ging über Arbeiten von *Ljapunov* [40], *Barkhausen* [53], *Küpfmüller* [64], *Strecker* [69] und [89], *Nyquist* [70], *Michailov* [73] u. a. *Michailov* [82] befaßte sich auch mit Fragen der Strukturanalyse, beruhend auf der Typisierung der einzelnen Übertragungsglieder nach ihren dynamischen Eigenschaften.

Seit *Lüders* [14] hat man den Ungleichförmigkeitsgrad (T/15)

$$\frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{normal}}$$

ω Winkelgeschwindigkeit

definiert. Diese Größe dient zur Charakterisierung eines Reglers, z. B. bei *Weis* [80] und [86]; sie ist ein Maß für die Extrema der Regelabweichung einer geregelten Strecke.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts spielten „astatische" Regler (T/16) eine besondere Rolle (*Rolland* [21], *Tschebyschev* [25] u. a.). Nach *Wischnegradski* [27] handelt es sich dabei um Regler, deren Stellgröße bei einer Regelabweichung null jeden beliebigen Wert in ihrem Arbeitsbereich haben kann; vgl. z. B. auch *Weis* [86], *Brockhaus* abc [101]. Die heutigen I-Regler sind danach astatische Regler. Statische Regler (P-Regler) dagegen ordnen jeder Regelabweichung einen bestimmten Stellgrößenwert zu. Damals gab es mehrere Definitionen zur Astasie; alle aber liefen etwa auf das gleiche hinaus. *Hort* verstand unter Astasie eines Fliehkraftreglers großen Muffenhub bei kleinem Ungleichförmigkeitsgrad [48]. *Wischnegradski* [27] definierte die Astasie an dem Ausdruck

$$N \frac{du}{dt}$$

N Koeffizient des Muffenhubes, bezogen auf die relative Geschwindigkeits-

abweichung der zu regelnden Maschine

$\frac{du}{dt}$ Bewegungsgeschwindigkeit der Muffe

mit $N = 0$. *Wischnegradski* u. a. wiesen die Unbrauchbarkeit direktwirkender astatischer Regler nach; vgl. auch *Kargl* [23], *Hort* [48]. *Farcot* hat 1873 einen indirekten Regler mit Rückführung (T/17) beschrieben [24]. Vermutlich war dies die erste Beschreibung der Rückführung in der technischen Literatur überhaupt. Mit Hilfe „nachgiebiger" Rückführungen (eine Bezeichnung von *Tolle* [49], vgl. spätere Bemerkung zu T/32) würden (indirekt wirkende) Regler mit I-Verhalten realisierbar. Die Rückführungen machten Regler mit entscheidend neuen Qualitäten möglich. Beliebiges statisches und dynamisches Verhalten wurde damit erreichbar, wobei die später eingeführte Elektronik noch wesentliche Qualitätsverbesserungen brachte.

Schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde auch die Elektrotechnik für Regelungseinrichtungen angewendet. Der elektromagnetische Drehzahlregler (T/18) für Dampfmaschinen von *Konstantinov* [12] war ein Gegenstück zum üblichen Fliehkraftregler. In diesem Regler wurden über einen Flüssigkeitszentrifugator Elektromagneten gesteuert, deren Ankerbewegungen beliebige Regelfunktionen an ihrer Maschine verrichten konnten. *Tschikolev* benutzte erstmalig als Regler einen Elektromotor (T/19), und zwar für die Regelung von Kohlelichtbogen [26].

Einen Fortschritt in der Entwicklung der Regelungstheorie und damit eine leichtere Überschaubarkeit regelungstechnischer Zusammenhänge brachte die Anwendung der Linearisierung (T/20), der Methode der kleinen Schwingungen, von *Wischnegradski* [27] u. a.

Auch zur Zustandsraumbereschreibung (T/21) gab es schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts Ansätze. So hat *Léauté* 1885 ein Zustandsebenenverfahren angegeben [37], das die Zustandsänderungen einer unstetig geregelten Maschine bei Beharrungsstörungen erfaßt. Erst etwa ein Jahrzehnt später soll dieses Verfahren Bedeutung erlangt haben, als man sich mit der Synthese nichtstetiger Regler für Turbinen beschäftigte [100]. Die Entwicklung der heute bekannten Zustandsraumtheorie soll ihren Ursprung in grundlegenden Untersuchungen zu „Grenzzyklen" von *Poincaré* haben [32] (siehe auch *Andronov* [65]). Grenzzyklen sind Kurven in der Zustandsebene, an denen man Bedingungen für stetiges bzw. stabiles Verhalten physikalischer Systeme ermitteln kann. *Andronov*, *Witt*, *Chaikin* u. a. haben vom Zustandsebenenverfahren Gebrauch gemacht [76].

Im Rahmen umfangreicher Untersuchungen der Regelung von Kraftmaschinen behandelte *Lincke* 1879 die Problematik bereits nach kybernetischen Aspekten (T/22), indem er Gedanken zu Analogien des Verhaltens technischer Systeme zu Vorgängen in Nerven- und Muskelsystemen organischer Wesen äußerte [31]. *Wiener* erfaßte derartige Analogien unter dem Begriff der Kybernetik [90].

Zur Regelungstheorie der damaligen Zeit seien auch die Arbeiten von *Mises* [55] und *Schukowskij* [56] genannt.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gab es schon mehrere grafische Beschreibungsmethoden für Regelungen (T/23). Praktiker kamen damit schneller zum Ziel, da ihnen mathematische Methoden oft zu kompliziert und zu aufwendig erschienen. Die damaligen grafischen Verfahren beruhten zum großen Teil auf empirischen Ergebnissen und waren konstruktionsspezifisch. Obwohl sie damit kaum verallgemeinerungsfähig waren, boten sie rationelle Wege zu günstigen konstruktiven Lösungen. *Herrmann* hat hierzu einen großen Beitrag geleistet [36] und [38]; ein recht rationelles Verfahren für Fliehkraftregler hat *Tolle* 1895 mit seinen „C-Kurven" angegeben [44].

Den Begriff der Zeitkonstanten (T/24), der bereits von *Helmholtz* in der Mathematik benutzt worden war, führte *Stodola* bei seinen dynamischen Betrachtungen in die Regelungstechnik ein [41].

Über einen PD-Regler (T/25) soll ein Patent von *Hartmann* existieren [30]. Er hatte einen indirekt wirkenden Regler (Servoregler) angegeben. Ein Hinweis auf PI-Regelungen (T/26) in der Anwendung an Wasserturbinen soll 1893 von *Siemens* [42] gegeben worden sein.

Interessant war die stärkere Anwendung von „Beharrungsreglern" (T/27) gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Beharrungsregler waren rotierende Regler (z. B. Fliehkraftregler in flachen Bauformen), bei denen sich während einer Reglerbeschleunigung im Regler eine zusätzlich eingebaute bewegliche Masse infolge ihrer Trägheit derartig verschob, daß sich das hemmende Drehmoment des Reglers gegenüber seinem Wert im Ruhezustand verringerte. Eine Feder zog die Zusatzmasse bei Beschleunigungsabnahme bis zum stationären Drehzustand entsprechend in ihre alte Lage zurück. Damit lag eine verzögerte Rückführung vor, die bekanntlich auch heute zur Realisierung von D-Anteilen bei Reglern benutzt wird. Schon damals erkannte man, daß ein D-Anteil allein nicht brauchbar ist; man koppelte ihn mit einem P-Anteil. Für eine Verbreitung des Beharrungsreglers in Deutschland hatte *Stodola* mit seinen 1899 veröffentlichten Arbeiten [46] gesorgt.

Die Problematik nichtlinearer Regler (T/28) hat *Wischnegradski* 1878 umfassend in Angriff genommen [29]. Wesentlich spätere Arbeiten über dieses Gebiet sind 1929 von *Andronov* [66], 1937 von *Krylov* und *Bogoljubov* [74], 1944 von *Andronov* und *Bautin* [788] u. a. erschienen.

Regler mit nicht festem Sollwert (Führungsgröße), z. B. Programmregler (T/29) von *Sachachov* [33], spielen schon sehr lange eine Rolle.

Bis zum vierten Viertel des 19. Jahrhunderts bemühte man sich in der Maschinentechnik um konstante Drehzahlen. *Weiß* dagegen befaßte sich mit Leistungsreglern (T/30) [39]. Das sind Regler, die nicht die Drehzahl, sondern die -Leistung von Antriebsmaschinen regeln, z. B. zwecks Konstanthaltung von Förderhöhen in Pumpenwerken mit Dampfmaschinenantrieb u. a. In jüngerer Zeit hat *Stein* ausführlich über den Einfluß von Belastungsschwankungen auf Dampfverbraucher geschrieben [61].

Neben der Regelung von Dampfmaschinen wurden auch Turbinenregelungen untersucht z. B. von *Stodola* [43], *Pfarr* [47], *Bauersfeld* [50], *Danninger* [72], *Stschegljalew* [81] u. a.

Die analytische Behandlung unstetiger Regelungsvorgänge (T/31) wurde erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Angriff genommen, obwohl dieses Problem schon mit der Kolbendampfmaschine existierte. Wegen der Wandlung der Kolbenhubbewegung in eine Drehbewegung und wegen der intermittierenden Dampfzufuhr traten bereits bei den Kolbenmaschinen unstetige und sogar diskontinuierliche Vorgänge auf. Versuche zur theoretischen Behandlung dieser Problematik wurden u. a. von *Fink* [18], *Kargl* [22] und *Hort* [48] gemacht. *Hort* entwickelte in seiner umfassenden Arbeit eine Differentialgleichung folgender Form:

$$m \frac{d^2 \Delta z}{dt^2} + b \frac{d \Delta z}{dt} + c \, \Delta z = c p_k + c q_k t$$

Δz Auslenkung der Fliehkraftreglermuffe aus ihrer Sollage; m, b, c Konstanten; $p_k = \frac{P_m \Delta_k \omega}{a \delta \omega_m}$; $qk = \frac{r P_m}{a \delta \omega_m} (P_m - W - a \Delta_k z)$; P_m halbe max. Tangentialkraft an der Kurbel der Maschine; $\Delta_k \omega$ Abweichung der Winkelgeschwindigkeit der Maschine bei der Reglerstellung $\Delta_k z$; $a = \frac{P_m}{\Delta^\circ z}$; $\Delta^\circ z$ max. Reglerstellung; δ Ungleichsförmigkeitsgrad $\frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{2 \omega_m}$; ω_m Winkelgeschwindigkeit im stationären Zustand bei P_m; r Länge des Kurbelhebels; W Last der Maschine

Die zugehörige Hauptgleichung lautet:

$$\Delta z = \Delta_k e^{\alpha_1 t} + B_k e^{\alpha_2 t} + q_k t + \left(p_k - q_k \cdot \frac{b}{c} \right)$$

In der Weiterführung seiner Arbeit kam *Hort* zu Ergebnissen, zu denen 40 Jahre später auch *Oldenbourg* und *Sartorius* gelangten, als sie mit Differenzenrechnungen Abtastregelungen untersuchten [100]. *Lang* u. a. haben über Schrittregler berichtet [78]. Auch über Tirrillregler hat z. B. *Lang* 1938 [83] geschrieben. Über die Theorie der Relaissysteme ist z. B. bei *Zypkin* [95] nachzulesen.

Tolle [49] prägte den Begriff „nachgiebige Rückführung" (heute „nachgebende Rückführung") (T/32). Er realisierte sie mit einer Kombination aus einer Feder und einem „Ölkatarakt" (eine Art Stoßdämpfer). Die Anwendung nachgeben-

der Rückführungen ist heute allgemein bei der Herstellung von PI-Reglern geläufig. Vermutlich waren auch die oben erwähnten Wasserturbinen-PI-Regelungen gemäß T/26 mit nachgebenden Rückführungen ausgerüstet.

Über die Entwicklung automatischer Kurssteuerungen (T/33) für Schiffe sind Arbeiten von *Minorsky* [59] und [67] sowie von *Henderson* [71] u. a. bekannt.

Eine entscheidende Qualitätsveränderung in der Regelungstechnik brachte die Einführung der Elektronik. *Von Lieben* [51] u. a. entwickelten erste Elektronenröhren (T/34). *Meißner* [57] fand 1913 die elektronische Rückführung (Rückkopplung), *Schloemilch*, *Hausser-Ganswindt* und *Rukop* [58] und [91] die negative elektronische Rückführung. Zur Schwingungserzeugung, die bekanntlich mit positiver Rückführung (Mitkopplung) möglich ist, hatte *Barkhausen* schon 1907 Aussagen gemacht [53]. Seine Schwingungsformel

$$KV = 1$$

war über Jahrzehnte ein benutztes Stabilitätskriterium. *Barkhausen* ahnte aber schon selbst sehr früh, daß diese Angabe nicht ausreicht und genauere Kriterien erforderlich sind (vgl. Ausführungen zu T/14).

Die praktische Nutzung der negativen elektronischen Rückführung folgte nach der Entwicklung eines elektronischen Verstärkers mit Gegenkopplung im Jahre 1927 durch *Black* [62]. Einen umfassenden Beitrag über Verstärkungsregler (T/35) hat *Küpfmüller* 1928[63] geliefert.

Wünsch hat mit dem Strahlrohrregler (T/36) einen heute sehr weit verbreiteten hydraulischen Regler geschaffen [68].

In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts hatte sich die Flugzeugtechnik so weit entwickelt, daß auch sie regelungstechnischer Einrichtungen bedurfte, u. a. befaßte sich damals in Deutschland *Oppelt* mit der Flugzeugkurssteuerung (T/37) [77].

In den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts war der Zeitpunkt der Notwendigkeit einer Standardisierung der Begriffe der Regelungstechnik (T/38) gekommen.

Eine grundlegende Arbeit hierzu wurde in Deutschland [87] geleistet. In der DDR sind die gültigen Begriffe durch den Standard TGL 14591 — Automatische Steuerungen — festgelegt.

Über erste Anwendungen von Matrizen (T/39) in der Regelungstheorie berichtet *Lusin* 1940 [84]. 1948 prägte *Wiener* den Begriff „Kybernetik" (T/40) [90] und [97] (erste kybernetische Ideen siehe Ausführung zu T/22).

Mit der Erfindung des Transistors (T/41) im Jahre 1948 durch *Bardeen*, *Brittain* und *Schockley* ergaben sich für den Gerätebau auch in der Regelungstechnik neue einschneidende Veränderungen, die wesentlich geringeren Raum- und Energiebedarf der Bauelemente mit sich brachten.

PID-Regler (T/42) scheinen erst um 1940 eingeführt worden zu sein [85]. Erste Vorschläge in der DDR zur Konstruktion eines pneumatischen Einheitsreglers (T/43), der einheitliche Grundelemente enthält und beliebig als P-, I-, PI-, PD- oder PID-Regler kombinierbar ist, hat *Ferner* 1954 gemacht [92].

Über umfangreiche Entwicklungen in der Geschichte der Automatisierungstechnik der UdSSR berichten z. B. *Chramoj* [93], *Solodownikow* [94] und [99] u. a.

Etwa 1970 beginnt die stürmische Entwicklung der Mikroelektronik (T/44). Innerhalb ihrer unzähligen Möglichkeiten bringt sie auch für die Regelungsgerätetechnik vollkommen neue konstruktive Qualitäten. Höchste Integrierbarkeit auf kleinstem Raum, Billigkeit infolge möglicher Massenproduktion u. a. führen zu äußerst kleinen, billigen Baugliedern und zu einschneidenden Strukturveränderungen der Automatisierungsanlagen. Vollkommen neue technische Realisierungsmöglichkeiten sind damit zu erwarten.

Literatur

Dieses Verzeichnis erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es enthält ausgewählte Quellen, die zwecks Verdeutlichung obiger Tafel chronologisch geordnet sind.

[1] *Hachette:* Trait elementaire des machines. Paris: 1811 (vgl. [48]).

[2] *Borgnis:* Trait complet de mecanique. Paris 1818 (vgl. [48]).

[3] Inbetriebnahme eines Gasdruckreglers in London 1820. (vgl. [100], S. 26).

[4] *Poncelet, J. V.:* Cours de mecanique applicquer. 1826 (Vgl. [48]).

[5] *Preus:* Magasin philosophique 1827. Bd. 62, S. 298 (vgl. [100], S. 16).

[6] *Tredgold:* The Steam Engine. 1827 (vgl. [48]).

[7] *von Langsdorf:* Ausführliche Systeme der Maschinenkunde. Heidelberg: 1826 (vgl. [48]).

[8] Patentierung eines Thermostaten in England 1830 (vgl. [100], S. 26)

[9] Pneumatischer Regler von *Moliné* 1838. (vgl. [100], S. 21).

[10] *Airy:* On the regulator of the Clockworks for effecting uniform Movement of Equatoreals. Mem. of the Astr. Soc. of London 1839 (vgl. [48]).

[11] *Jastrshembski, N. F.:* Die Anfangsfundamente der angewandten und allgemeinen Mechanik. Teil I und II. St. Petersburg: 1846(vgl. [99], S. 25).

[12] Elektromagnetischer Drehzahlregler für Dampfmaschinen von *Konstantinov* 1854 (vgl. [94], S. 12).

[13] *Reuleaux, F.:* Zur Regulatorfrage. Z. d. VDI (1859) (vgl. [100], S. 34 u. a.).

[14] *Lüders, J.:* Über die Regulatoren. Z. d. VDI (1861) (vgl. [48]).

[15] *Bode, G.:* On the differential equations of dynamics. London: 1864.

[16] *Lüders, J.:* Über die Regulatoren. Z. d. VDI (1865) (vgl. [48]).

[17] *Bode, G.:* On the differential equations which determine the form of the roots of algebraic equations. London: 1865.

[18] *Fink, C.:* Über die gebräuchliche Modifikation des Watt'schen Regulators. Z. d. VDI (1865) (vgl. [47]).

[19] Pneumatischer Regler von *Schpakowski* 1866 (vgl. [94], S. 12).

[20] *Maxwell, J. C.:* On governors. Z. Philosophical Magazine **35** (1868) p. 385.

[21] *Rolland:* Memoire sur l'etablissement de Regulateurs de la vitesse. Journal de l'ec. polytechnique 1870 (vgl. [48]).

[22] *Kargl, L.:* Beitrag zur Lösung der Regulatorfrage. Z. Der Civilingenieur **17** (1871) (vgl. [48]).

[23] *Kargl, L.:* Beweis der Unbrauchbarkeit sämtlicher astatischer Regulatoren. Z. Der Civilingenieur **19** (1873) (vgl. [48]).

[24] *Farcot, J.:* Le servo-moteur on moteur asservi. Paris 1873 (vgl. [100], S. 40).

[25] *Tschebyschew:* Du regulateur centrifuge. Paris: Les Mondes 1873 (vgl. [48]).

[26] *Tschikolew, B. N.:* Elektrizität (1880) H. 3 und 4 (in russ. Sprache) 1874 (vgl. [94], S. 14).

[27] *Wischnegradski, J. A.:* Über directwirkende Regulatoren. Z. Der Civilingenieur **23** (1877) H. 2, S. 95 (vgl. auch [94], S. 16 zur französischen Ausgabe 1876).

[28] *Routh, E. J. A.:* Treatise on the Stability of a Given Stata of Motion. London 1877, (vgl. [48]).

[29] *Wischnegradski* über indirekt wirkende Regler 1878 (vgl. [94], S. 17).

[30] Servoregler mit PD-Verhalten von Hartmann 1878 (vgl. [48]).

[31] *Lincke:* Das mechanische Relais. Z. d. VDI (1879) (vgl. [48]).

[32] *Poincaré, H.:* Sur les definies par une equation differentielle. Journ. des Math. 3–7 (1881) 375, 3–8 (1882) 251, 4–1 (1885) 167, 4–2 (1886) 151 (Grundlegende Untersuchungen in der Zustandsebene).

[33] Über Programmregler von *N. I. Sachachov* 1882 (vgl. [94], S. 17).

[34] *Grashof, F.:* Theoretische Maschinenlehre. Bd. II. Verlag von Leopold Voss 1883.

[35] *Proell, R.:* Über den indirekt wirkenden Regulierapparat. Patent. Z. d. VDI (1884) S. 457 und 473.

[36] *Herrmann, G.:* Grafische Turbinentheorie. Z. d. VDI (1884).

[37] *Léauté:* Memoire sur les oszillations a longues periodes. Journal de l'Ecole polyt. (1885) (vgl. [48]).

[38] *Herrmann, G.:* Die grafische Untersuchung der Zentrifugalregulatoren. Z. d. VDI (1886).

[39] *Weiß, F. J.:* Leistungsregulatoren für Pumpendampfmaschinen mit veränderlicher Expansion. Z. d. VDI (1891).

[40] *Ljapunow, A. M.:* Das allgemeine Problem der Stabilität einer Bewegung. Dissertation Charkow 1892 (vgl. [99], S. 27).

[41] *Stodola, A.:* Turbinenregulierung. Schweizer Bauzeitung **22** (1893) und **23** (1894) (vgl. [48]).

[42] Hinweis auf PI-Regelung 1893 (vgl. [48], S. 45).

[43] *Stodola, A.:* Über die Regulierung von Turbinen. Schweizer Bauzeitung **22** (1893) S. 113 und **23** (1894) S. 108 (vgl. [48]).

[44] *Tolle, M.:* Beiträge zur Beurteilung der Zentrifugalpendelregulatoren. Z. d. VDI (1895) und (1896).

[45] *Hurwitz, A.:* Über die Bedingungen, unter welchen eine Gleichung nur Wurzeln mit negativen reellen Teilen besitzt. Math. Annalen **46** (1895) S. 273, Zürich: 1896.

[46] *Stodola, A.:* Das Siemenssche Regulierprinzip und die amerikanischen „Inertie"-Regulatoren. Z. d. VDI (1899).

[47] *Pfarr, A.:* Der Reguliervorgang bei Turbinen mit indirekt wirkenden Regulatoren. Z. d. VDI (1899).

[48] *Hort, W.:* Die Entwicklung des Problems der stetigen Kraftmaschinenregler nebst einem Versuch der Theorie unstetiger Regelungsvorgänge. Z. für Math. u. Phys. **50** (1904).

[49] *Tolle, M.:* Die Regelung der Kraftmaschinen. Berechnung und Konstruktion der Schwungräder, des Massenausgleichs und der Kraftmaschinenregler in elementarer Behandlung. Berlin: Springer-Verlag 1905 (1. Aufl.) und 1909 (2. Aufl.).

[50] *Bauersfeld, W.:* Die automatische Regulierung der Turbinen. Berlin: Springer-Verlag 1905.

[51] *von Lieben:* DRP 179807 (1906) (vgl. [100], S. 122).

[52] *Burdau, A.:* Beiträge zur Frage der Regulierung hydraulischer Motoren. Wien und Leipzig: Erstes und zweites Heft 1906, drittes Heft 1909 (vgl. [100], S. 21 und 44).

[53] *Barkhausen, H.:* Das Problem der Schwingungserzeugung. Leipzig 1907.

[54] *Pfarr, A.:* Die Peltonradanlage des Elektrizitätswerkes der Stadt Nordhausen. Z. d. VDI (1908) S. 1224.

[55] *Mises, R.:* Zur Theorie der Regulatoren. Z. Elektronik und Maschinenbau **26** (1908) Nr. 37.

[56] *Schukowskij, C. E.:* Teorija regulirowanija choda maschin. Moskau 1909.

[57] *Meißner, A.:* Selbsterregung eines induktiven rückgekoppelten Verstärkers. Archiv d. Elektrotechnik **14** (1919) S. 5.

[58] *Schloemilch, W.; Hausser-Ganswindt, I. Rukop, H.:* Gegenkopplung. DRP 298464. 1915 (vgl. [91], S. 509).

[59] *Minorsky, N.:* Directional Stability of Automatically Steered Bodies. J. Amer. Soc. Naval Engrs. **34** (1922) p. 280 (vgl. [100], S. 62).

[60] *Wosnessenski, I. N.:* Über indirekt wirkende Regler (in russ. Sprache). Petrograd: 1922 (vgl. [94], S. 20).

[61] *Stein, Th.:* Regelung und Ausgleich in Dampfanlagen. Einfluß von Belastungsschwankungen auf Dampfverbraucher. Berlin: Springer-Verlag 1926.

[62] *Black, H. S.:* Stabilized Feedback Amplifiers. Bell System Techn. J. 1934 (vgl. [100], S. 123).

[63] *Küpfmüller, K.:* Über die Dynamik der selbständigen Verstärkungsregler. Z. Elektr. Nachrichtentechnik **5** (1928) S. 456.

[64] *Küpfmüller, K.:* Stabilität und Einschwingvorgänge in Regelsystemen mit Laufzeit. Z. Techn. Phys. **9** (1928) und Elektr. Nachrichtentechn. 5 (1928) S. 459.

[65] *Andronow, A. A.:* Comptes Rendus. Bd. 189, Paris: 1929 (vgl. [94], S. 23).

[66] Nichtlineare Probleme von *Andronow* 1929 (vgl. [94], S. 23).

[67] *Minorsky, N.:* Automatic Steering Tests. J. Amer. Soc. Naval Engrs. **42** (1930) (vgl. [100], S. 65).

[68] *Wünsch, G.:* Regler für Druck und Menge. München und Berlin: R. Oldenbourg-Verlag 1930.

[69] Stabilitätskurven von *Strecker* (1930) (vgl. [89]).

[70] *Nyquist, H.:* Regeneration Theory. Bell System Technical Journal **11** (1932) p. 126.

[71] *Henderson, J. B.:* The automatic control of ships and suggestions for its improvement. Trais. Inst. Naval Archit. **76** (1934) (vgl. [100], S. 156).

[72] *Danninger, P.:* Die Dampfturbinenregelung. Ausmittlung, Ausführung, Betrieb. München und Berlin: R. Oldenbourg Verlag 1934.

[73] *Michailow, A. W.:* Die Methode der harmonischen Analyse in der Regelungstheorie. Automatik und Telemechanik **3** (1938) S. 27 (vgl. [100], S. 114).

[74] *Krylow, N. M., Bogoljubow, N. N.:* Einführung in die nichtlineare Mechanik (in russischer Sprache). Kiew 1937 (vgl. [94], S. 23, und [99], S. 31).

[75] *Schmidt, W.:* Gesetze der unmittelbaren Regelung auf allgemeinster Grundlage. Z. d. VDI (1937).

[76] *Andronow, A. A., Witt, A. A. Chaikin, S. E.:* Theorie der Schwingungen. Moskau 1937 (vgl. [100], S. 159).

[77] *Oppelt, W.:* Die Flugzeugsteuerung im Geradeausflug. Z. Luftfahrtforschung **14** (1937) S. 270.

[78] *Lang, M.:* Die Theorie der ausschlagabhängigen Schrittregelung. Z. Techn. Phys. **18** (1937) S. 318 (vgl. [100], S. 146).

[79] *Wosnessenski, I. N.:* Über Regelung von Maschinen mit einer großen Anzahl von zu regelnden Parametern. Automatik und Telemechanik (1938) (vgl. [99], S. 29).

[80] *Weis, E.:* Automatische Regler in der Hydrierung des Leuna-Werkes (unveröffentlicht). Leuna: 1938.

[81] *Stschegljalew, A. W.:* Die Regelung von Dampfturbinen (in russ. Sprache). Moskau und Leningrad 1938 (vgl. [94], S. 21).

[82] *Michailow, A. W.:* Automatik und Telemechanik (1938) H. 3 (vgl. [94], S. 21: Strukturanalyse).

[83] *Lang, A.:* Die Schnellregeleigenschaften des Tirrillreglers. Archiv d. Elektrotechnik **32** (1938) S. 675.

[84] *Lusin, N. N.:* Automatik und Telemechanik (1940) H. 6 (in russ. Sprache). (Vgl. [94], S. 22: Anwendung Matrizenmethode).

[85] Über erste PID-Regler. 1940 (vgl. [102]).

[86] *Weis, E.:* Die Lastabhängigkeit selbsttätiger Regler und Mittel zu ihrer Beseitigung. Elektrotechn. Z. **64** (1943).

[87] Autorenkollektiv: Regelungstechnik — Begriffe und Erklärungen. Z. d. VDI (1944).

[88] *Andronow, A. A., Bautin, N. N.:* Bericht der Akademie der Wiss. Bd. 43 (in russ. Sprache) 1944. (vgl. [94], S. 23).

[89] *Strecker, F.:* Die elektrische Selbsterregung, mit einer Theorie der aktiven Netzwerke. Stuttgart: Hirzel Verlag 1947.

[90] *Wiener, N.:* Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. Paris: Hermann 1948.

[91] *Pitsch, H.:* Lehrbuch der Funkempfangstechnik. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1950.

[92] *Ferner, V.:* Über den Einheitsregler. Z. Die Technik 9 (1954) H. 1, S. 37.

[93] *Chramoj, A. V.:* Ein Abriß der Entwicklungsgeschichte der Automatik in der UdSSR. Die Periode vor der Oktoberrevolution (in russ. Sprache). Moskau: Akademija 1956.

[94] *Solodownikow, W. W.:* Grundlagen der selbsttätigen Regelung. Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik und München: R. Oldenbourg-Verlag 1958

[95] *Zypkin, J. S.:* Theorie der Relaissysteme der automatischen Regelung. München: R. Oldenbourg-Verlag 1958 (vgl. [100], S. 162).

[96] *Mesarovic, M. D.:* The control of Multivariable Systems. New York: Wiley and Sons 1960 (vgl. [100], S. 176).

[97] *Wiener, N.:* Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine. 2. rev. und erg. Aufl. (erste deutsche Aufl.). Düsseldorf/Wien: Econ-Verlag 1963.

[98] *Mayr, O.:* Zur Frühgeschichte der technischen Regelung. München/Wien: R. Oldenbourg-Verlag 1969.

[99] *Solodownikow, W. W.:* Grundlagen automatischer Regelsysteme. Stetige lineare Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1971.

[100] *Rörentrop, K.:* Entwicklung der modernen Regelungstechnik. München/Wien: R. Oldenbourg-Verlag 1971.

[101] Brockhaus abc Automatisierung. Leipzig: F. A. Brockhaus Verlag 1975.

msr 7040

Dr. paed. *H. Rohr*, TH Leipzig;

Dr.-Ing. G. *Müller*, TH Magdeburg;

Dipl.-Ing. *D. Neuhaus*, VEB Paraffinwerk Webau

Kraftmeßeinrichtung mit minimalem Meßweg für Kräfte von 0,2 N bis 20 N

An elektromagnetischen Überstromauslösern für Wechselstrom treten pulsierende Magnetkräfte mit zeitlichen Mittelwerten von einigen N auf. Zur Messung dieser Magnetkräfte war eine elektrische Meßeinrichtung zu entwickeln, die unter Laborbedingungen bei Nennkraft eine sehr geringe mechanische Rückwirkung (Meßweg) in der Größenordnung von 10 µm haben sollte.

Nach Vergleich möglicher Meßprinzipe erwies sich ein System von Halbleiter-Dehnmeßstreifen (HL-DMS) auf einem Biegebalken unter den gegebenen Bedingungen als am besten geeignet. Hierbei wird die Kraft durch einen als Doppelbiegebalken ausgeführten Verformungskörper in einen Dehnungszustand seiner Oberfläche umgeformt. In bestimmten Oberflächenbereichen aufgeklebte HL-DMS wandeln die Längenänderungen in meßbare Änderungen ihres elektrischen Widerstandes um. Durch entsprechende Brückenschaltung der DMS und Speisung mit einem konstanten Gleichstrom steht am Ausgang eine Meßspannung zur Verfügung, die der Verformung proportional ist. Angestrebt wurde die direkte Erfassung dieser Spannung mit einem Digitalvoltmeter ohne Zwischenschaltung eines Meßverstärkers. Bei der konstruktiven Gestaltung war zu berücksichtigen, daß die relativ kleinen Magnetsysteme mit Hilfe eines Meßmikroskopes befestigt, justiert und beobachtet werden sollen.

Für einen Zugkraft-Meßbereich von 0,2 bis 20 N wurde eine Meßdose entworfen und gebaut, die eine Nachgiebigkeit von 0,5 µm/N hat. Aus der Anschlußbedingung an ein vorhandenes Digitalvoltmeter ergab sich die Forderung nach einer Mindestmeßspannung von 0,2 mV. Eine rechnergestützte Optimierung führte zu den angegebenen konstruktiven Daten (s. Bild) mit einer berechneten Dehnung von $\varepsilon = 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ an den trapezförmigen Abschnitten bei $F =$ 0,2 N. Hier wurden insgesamt 16 HL-DMS aufgeklebt und jeweils 4 je Brückenzweig in Reihe geschaltet. Dank der sehr geringen Nenndurchbiegung und -dehnung ist die Meßeinrichtung etwa 10fach überlastbar.

Das Gehäuse, das den Biegebalken zur Kraftmeßdose komplettiert, ist unmittelbar an den Tragarm eines Meßmikroskopes BK 70 × 50 (VEB Carl Zeiss JENA) angesetzt. Eine Führungsmembran sowie eine spezielle Zugstange mit zwei biegeweichen Segmenten verhindern die Einleitung störender Querkräfte und Biegemomente in den Biegebalken. Die Kalibrierung mit dem üblichen Abschlußwiderstand von 1 kΩ ergab für einen Übertragungsfaktor von 1 mV/N eine erforderliche Speisespannung der Dose von 8,875 V; bei Speisung mit 9,050 V erhält man 10 mV/kp.

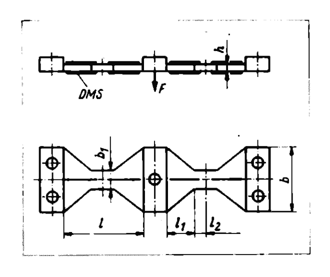


Bild. Verformungskörper (halber Doppelbiegebalken) mit Dehnmeßstreifen an Oberflächenbereichen mit konstanter Dehnung

Daten (in mm)	l_1	l_2	h	b	b_1
	11	4	2,5	24,6	6,5

Die Meßspannung ist ein vollständiges Abbild der Schwingbewegung des Meßgliedes und damit im stationären Fall ein Maß für die Zeitfunktion der Kraft des Wechselstrommagneten. Die Bildung des meist interessierenden zeitlichen Mittelwertes der Meßspannung übernimmt das Digitalvoltmeter, dessen Eingangsfilter den Wechselanteil unterdrückt, so daß der Mittelwert der Kraft direkt abgelesen werden kann. Mit hochstabilen Speise- und Kompensationsspannungen (elektrischer Nullabgleich) lassen sich unter Laborbedingungen Meßfehler unter 1% einhalten.

Ursprungsbetrieb: VEB Schaltelektronik Oppach im VEB KEAW, Bereich Wissenschaft und Technik, 8030 Dresden, Sternstraße 35.

msr 118 *K.-P. Pretzschner*

Mengenvoreinstellwerke

MVG-1/2 A Typ-Nr.: 2.40 00/16:05
MVG-2/2 A Typ-Nr.: 2.40 01/07:04
MVG-4/1 Typ-Nr.: 2.40 14/00:07
MVG-5/1 B Typ-Nr.: 9.01 70/00:09
MVG-5/1 L Typ-Nr.: 9.01 80/00:18
MVG-5/1 Z Typ-Nr.: 9.01 90/00:00

Mit Hilfe der pneumatischen Mengenvoreinstellwerke können Stoffe beliebigen Aggregatzustandes hinsichtlich ihrer Menge dosiert werden. Dabei müssen von einer externen Meßeinrichtung mengenproportionale Impulse geliefert werden, die vom Mengenvoreinstellwerk gezählt und mit dem voreingestellten Werk verglichen werden. Ein leistungsstarkes Ausgangssignal organisiert die Grob- und Feinstromdosierung.

MVG-1/2 A (Bild 1)

- Für Austauschinstrumentierung (Ersatz für Mengenvoreinstellwerk MP 10, MP 100, MP 1000)
- Bedieneinheit als Gehäuseeinschub für Gehäuse (192 mm × 192 mm) nach TGL 3650
- Informationsverarbeitung im Blockrahmen 4 (400 mm × 310 mm × 150 mm)
- Verbindung von Gehäuseeinschub und Blockrahmen über 2 Normkabel (2,5 m) Zählumfang: 0 ... 999

MVG-2/2 A (Bild 2)

- Kompakter Aufbau im EGS-Kastengehäuse A (480 mm × 160 mm × 300 mm) Zählumfang: 0 ... 999

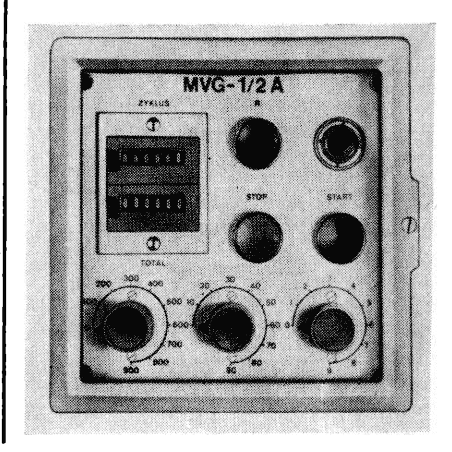
MVG-4/1

- Kompakter Aufbau im EGS-Kastengehäuse A (480 mm × 160 mm × 300 mm)
- Eingangs- und Ausgangssignale elektrisch (24 V GS)
- Zählumfang: 0 ... 999

MVG-5/1 (Bild 3)

- für Warteninstrumentierung
- Konstruktive und funktionelle Trennung
  in Bedieneinheit MVG-5/1 B
  Leistungsteile MVG-5/1 L
  Zähldekade MVG-5/1 Z
- Aufbau der Funktionseinheiten als Einschübe für EGS-Aufbaugehäuse (80 mm × 160 mm × 380 mm)
- Beliebiger Zählumfang, je nach Anzahl der gekoppelten Zähldekaden
- Zählumfang: 0 ... $10^{n}-1$
  (n Zahl der verwendeten Zähldekaden)

1

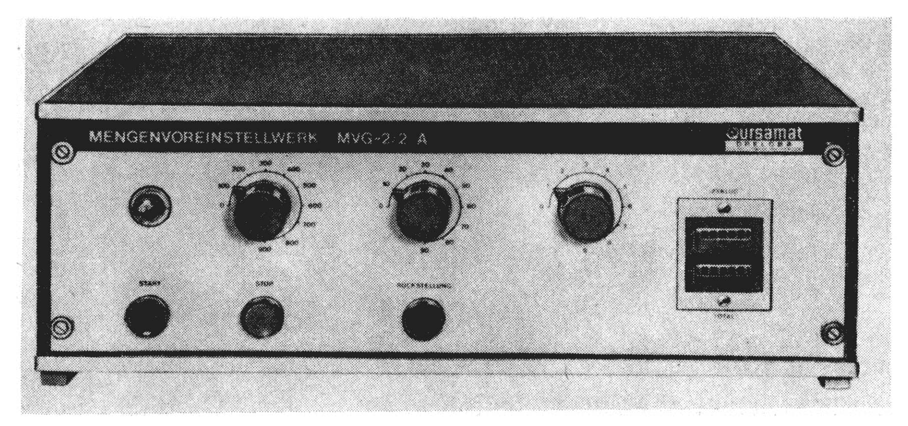


Technische Daten

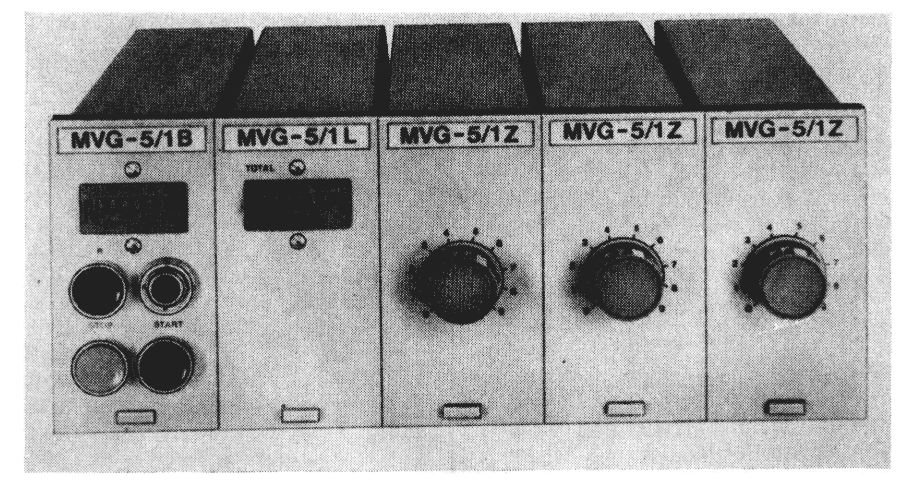
Nennbedingungen	nach TGL 22500/ Bl. 2
Hilfsluftdruck	$p_{H} = 140$ kPA (Ü) ± 10%
zulässige Umgebungstemperatur	+5 ... +40 °C
Signalpegel für Zählimpulse	3 kPA ± 10%

Hersteller: VEB Reglerwerk Dresden, 8060 Dresden, Großenhainer Str. 1—7.

msr 7129.2



2



3

Mikrorechnersystem K 1520

Das Mikrorechnersystem K 1520 besteht aus einem Sortiment von aufeinander abgestimmten Baugruppen und Systemunterlagen, die entsprechend den zu lösenden Aufgaben beliebig ausgewählt und zu Anwederkonfigurationen zusammengestellt werden können. Die wichtigsten Komponenten des robotron K 1520 sind:

- Zentrale Verarbeitungseinheit
- Speicher
- Anschlußsteuerung für Geräte und Interface
- periphere Geräte
- Cross-Assembler
- Simulations- und Testsystem.

Die konstruktiv und funktionell abgestimmten Baugruppen sind sowohl für den Einbau in Geräte als auch für den Aufbau eigenständiger Mikrorechenanlagen geeignet. Einsatzgebiete des Mikrorechnersystems sind:

— Automatisierte Produktionssteuerung, z. B. Steuerung und Überwachung von Prozessen innerhalb von Rechenhierarchien, zentrale Meßwerterfassung und Überwachung von Teilprozessen, programmierte Maschinensteuerung

— Labor- und Prüffeldautomatisierung, z. B. Steuerung und Meßwertverarbeitung von Einzelgeräten, Steuerung und Meßwertverarbeitung von Gerätekomplexen

— Wissenschaftlich-technische und ökonomische Aufgaben, z. B. dezentrale Lösung von wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Aufgaben, Datenerfassung in Datensammelsystemen, Buchung, Fakturierung und Abrechnung

— Informationsverarbeitungssysteme, z. B. Steuerung von Datenein- und -ausgabe, Steuerung von peripheren Geräten, Datenübertragungsaufgaben

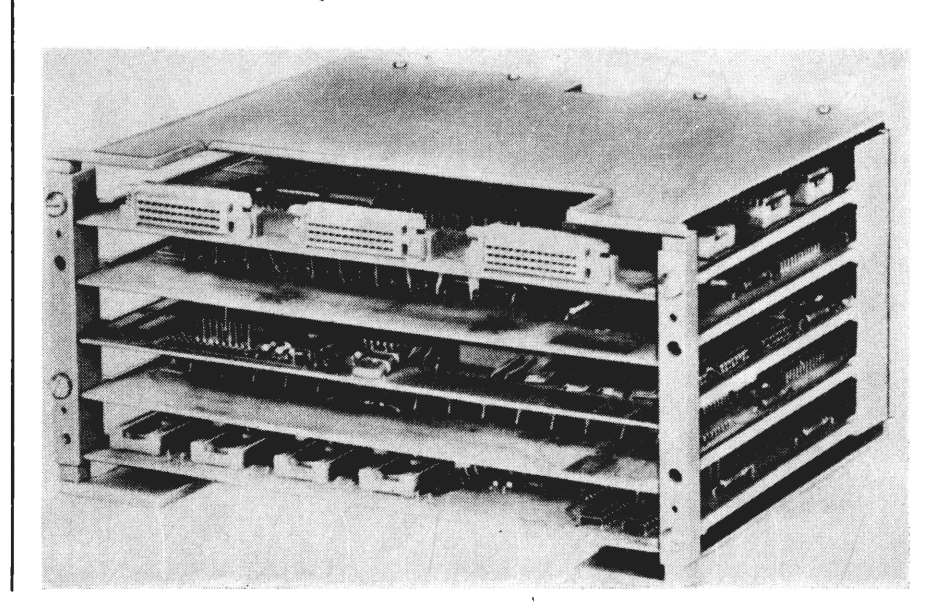
— Dezentrale Steuerung des Straßenverkehrs, Überwachung und Steuerung gebäudetechnischer Anlagen.

Das Mikrorechnersystem umfaßt die Baugruppen:

- ZRE — Zentrale Recheneinheit mit Echtzeituhr
- Taktgenerator und Speicher (1 K Byte RAM, 3 K Byte PROM)
- OPS — Operativspeicher (4 K Byte RAM)
- OFS — Operativfestwertspeicher (2 K Byte RAM, 6 K Byte PROM)
- PSF — Festwertspeicher (16 K Byte PROM)
- BVE — Busverstärker
- PPE — PROM-Programmiereinrichtung

Als Mikroprozessor wird in allen Varianten ein Schaltkreis in n-Kanal-MOS-Technik eingesetzt. Die Verarbeitungsbreite beträgt 1 Byte (8 bit) parallel. Als periphere Geräte kommen zum Einsatz:

— Lochbandleser robotron 1210 mit/ohne Elektronikkassette
— Lochbandstanzer robotron 1215 mit Elektronikkassette
— Bediendrucker robotron 4000
— Seriendrucker robotron 1156
— Kassettenmagnetbandgerät robotron 1250.



Systemunterlagen werden zur Unterstützung der Entwicklung anwendungsspezifischer Programme sowohl als Programmkomponenten wie Assembler, Lader, Test- und Korrekturmittel, Wirtsrechner-SUL als auch durch vorbereitete generierbare Programm-Module in Form von Steuerprogrammsystemen, Bedienprogrammen, mathematischen und problemorientierten Prozeduren angeboten. Außerdem stehen Gerätetestprogramme und Prüfsystemunterlagen zur Verfügung, die der Inbetriebnahme beim Hersteller des Gerätesystems beim Anwender dienen. Besonders günstig wirkt sich dabei die Zusammenfassung der Einzelprogramme für die verschiedenen Baugruppen durch ein Leitprogramm zu einem Dauertestprogramm aus.

Hersteller: VEB Kombinat Robotron

msr 6949.2

Datensammelsystem 4230

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Datenerfassung und zur Anpassung dieses Prozesses an leistungsfähige EDV-Anlagen wurde das Datensammelsystem 4230 entwickelt. Dieses System entspricht den internationalen Parametern und ermöglicht eine Steigerung um 20 bis 50% gegenüber der herkömmlichen Datenerfassung mit Lochkartenlochern und -prüfern. Weitere Vorteile sind:

— Hohe Fehlersicherheit durch rechnergesteuerte Prüfungen bereits während der Datenerfassung.

— Dateneingabe mit hoher Geschwindigkeit in die EDV-Anlage durch Einlesen der Daten mit 1/2″ rechnerkompatiblem Magnetband.

— Entlastung der EDV-Anlage von umfangreichen Prüffunktionen.

— Sofortige Korrektur fehlerhafter Daten.

— Verbesserung der Materialökonomie durch Einsatz wiederverwendbarer Datenträger.

— Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Bedienkräfte.

Der Einsatz des Datensammelsystems 4230 kann sowohl zentral als auch dezentral erfolgen. Im ersten Fall ist der Einsatz mit der Ablösung der Gerätetechnik in den sogenannten „Locher-Sälen“ verbunden. Im zweiten Fall wird die Erfassung direkt am Entstehungsort der Daten vorgenommen.

Einsatzbeispiele:

— Organisations- und Rechenzentren

— Handelsorganisationen und Dienstleistungsbetriebe

— Industriebetriebe für Lagerhaltung Buchhaltung
- Versandbüro
- Lohn- und Gehaltsabrechnung
- Erfassung von Stammdaten

— medizinische Einrichtungen.

Als Zentraleinheit wird der Rechner 4201 mit 32 K Worten Internspeicher verwendet. Neben der Standardperipherie wie Lochbandleser, Lochbandstanzer, Bedienschreibmaschine, Drucker können bis zu vier Magnetplattenspeicher zu je sechs M Byte und bis zu vier 12,7 mm-Magnetbandgeräte angeschlossen werden. Die Bildschirmarbeitsplätze werden über den Konzentrator des Systems Robotron 1610 an den Rechner 4201 angeschlossen. Der Rechner ermöglicht den Anschluß von bis zu vier Konzentratoren. Da sich an jeden Konzentrator 15 Datenstationen anschließen lassen, kann das Datensammelsystem 4230 bis zu 60 Datenstationen umfassen. Um das System den jeweiligen örtlichen Bedingungen beim Anwender anpassen zu können, sind systeminterne Verbindungsmöglichkeiten unter Einsatz von Schnittstellenwandlern bzw. MODEMS vorhanden.

Die Software-Lösung des Datensammelsystems 4230 gestattet dem Anwender, ohne zusätzliche Einsatzvorbereitung acht Betriebsarten zu nutzen.

Die zur Generierung der Prüfprogramme gebräuchlichsten Prüfverfahren stehen in einer Programmbibliothek zur Verfügung.

Hersteller: VEB Kombinat Robotron

msr 6949.6



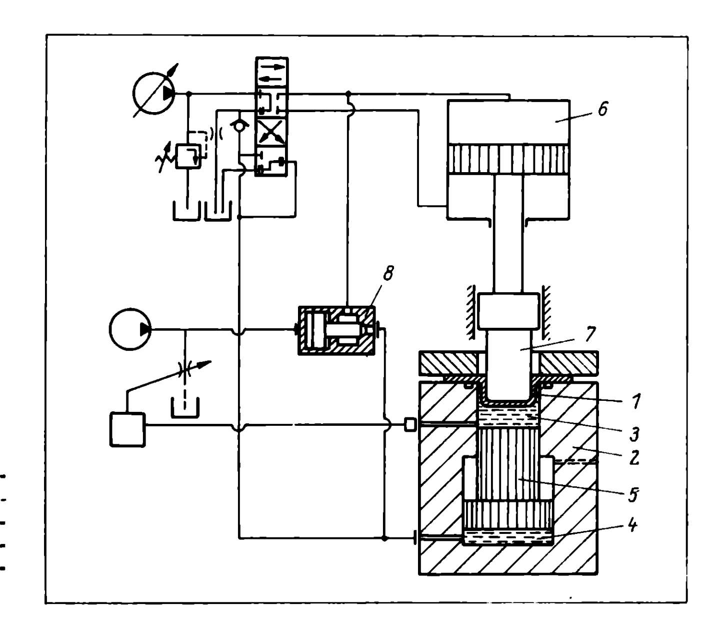
Hydraulikkreis einer Presse zum hydromechanischen Ziehen

DDR-WP 136030, Klasse B 30 B, Gruppe 15/16, 5 Anspruchspunkte, 2 Zeichnungen. Anmeldung: 3. April 1978, Ausgabe: 13. Juni 1979, Priorität: 5. April 1977 ČSSR, Inhaber: Výzkumný ústav tvárecich stroju a technologie tváreni, Brno (ČSSR)

Die Erfindung betrifft den Hydraulikkreis einer Presse zum hydraulischen Tiefziehpressen, insbesondere zum hydromechanischen Ziehen von Preßlingen *1* in einer eine Ziehmatrize bildenden Druckkammer *2*, die mindestens zwei Flüssigkeitsräume *3*; *4*, die voneinander durch mindestens einen Kolbenumformer *5* getrennt sind, enthält. Erfindungsgemäß ist wenigstens einer der Flüssigkeitsräume *3*; *4* in der Druckkammer *2* mit dem Druckkreis eines Hauptarbeitszylinders *6* zu dem Pressenstößel *7* verbunden und die Verbindung zum Hervorbringen eines Druckgefälles der überströmenden Flüssigkeit durch ein gesteuertes Drosselventil *8* unterbrochen.

Besonders vorteilhaft ist bei der erfindungsgemäßen Lösung, daß bei der Druckkammer als ein Werkzeugteil zum hydromechanischen Ziehen von Blechpreßlingen die bisher unvermeidlichen Füll- und Drosselhydraulikaggregate und Elemente, welche hohen Drücken ausgesetzt sind, wegfallen, wodurch die Gefahr von Störungen bei der Flüssigkeitsüberführung auf ein Minimum herabgesetzt ist. Eine Besonderheit der Schaltung der Druckkammer im Hydraulikkreis der Presse ist die Möglichkeit einer einfachen Steuerung der Druckdurchflüsse in den Flüssigkeitsräumen der Druckkammer bereits vom Moment des Einlegens und der Belastung des Blechzuschnittes durch den Haltestößel am Rand der Druckkammer und sodann im ganzen Verlauf des Ziehens des Blechpreßlings aus diesem Blechzuschnitt.

Ein weiterer Effekt der erfindungsgemäßen Lösung äußert sich insbesondere durch eine hohe Energieersparnis, weil ein Teil der Druckflüssigkeit aus dem zugehörigen Raum der Druckkammer im Verlauf des Ziehens des Blechpreßlings in den Kreis des Hauptarbeitszylinders der Presse zurückkehrt, wo die Energie dieser überströmten Druckflüssigkeit für die Arbeit im Hauptarbeitszylinder der Presse ausgenutzt wird. Weitere Kennzeichen und Vorteile der Erfindung gehen aus der Patentbeschreibung hervor.



1 Preßling, 2 Druckkammer, 3, 4 Flüssigkeitsräume, 5 Kolbenumformer, 6 Hauptarbeitszylinder, 7 Pressenstößel, 8 Drosselventil

msr 7124

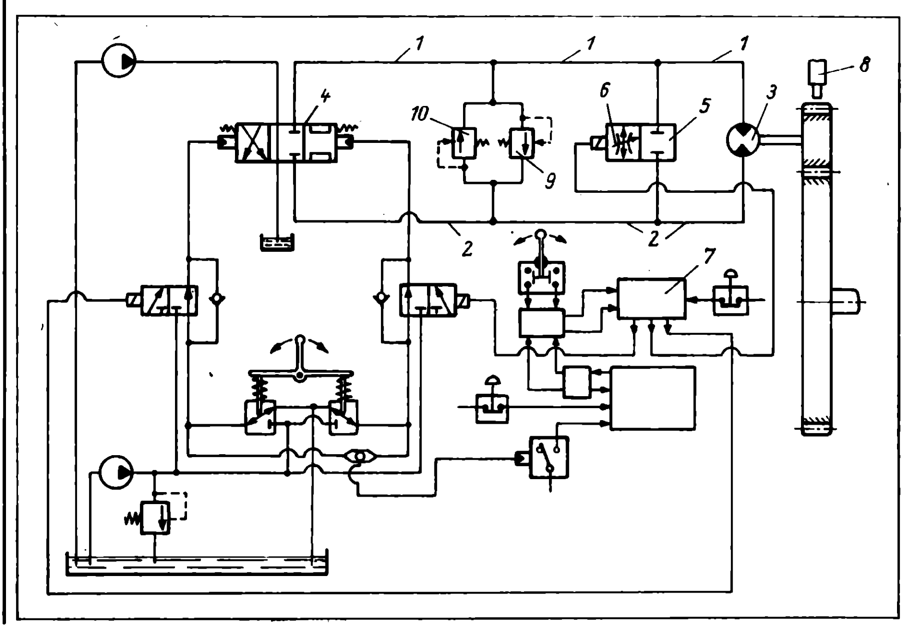
Vorrichtung zum automatischen Stillsetzen des Drehens eines hydraulischen Motors

BRD-OS 2827449, Klasse F 15 B, Gruppe 11/02, 2 Ansprüche, 23 Zeichnungen. Anmeldung: 22. Juni 1978, Ausgabe: 11. Januar 1979, Priorität: 23. Juni 1976 Frankreich. Anmelder: Poclain S. A., Le Plessis-Belleville (Frankreich)

Die Erfindung bezieht sich auf Vorrichtungen, welche das automatische Stillsetzen eines hydraulischen Motors in einer vorherbestimmten Stellung gestatten.

Dieses technische Gebiet hat eine spezielle Anwendung, auf die in der Offenlegungsschrift Bezug genommen wird, obgleich die Erfindung nicht auf diese Anwendung beschränkt ist. Die Anwendung wird bezogen auf das Steuern der Drehbewegung der schwenkbaren Halterung von Baumaschinen, die mit derartigen Halterungen versehen sind, und

1; 2 Speiseleitungen, 3 Motor, 4 Hauptsteuerschieber, 5 Magnetventile, 6 Drosselstelle, 7 Steuereinrichtung, 8 Detektor, 9; 10 Ventile



insbesondere auf die Steuerung der Drehung der Halterung einer Schaufel.
Gegenstand der Erfindung ist es, eine automatische Vorrichtung anzugeben, die die Rückkehr der Arbeitseinrichtung auf ihre Anfangs-Arbeitsstellung steuert. Ihr Vorteil beruht in der Verbesserung des stündlichen Arbeitswirkungsgrades der Schaufel dank der Verbesserung, die in der mittleren Geschwindigkeit der Halterungsdrehung erzielt wird; diese letztere ist dann nicht mehr von der Geschicklichkeit des die Maschine Steuernden abhängig.
Die Erfindung sieht vor, daß an die beiden Speiseleitungen *1*; *2* des Motors *3* zwischen diesem und einem Hauptsteuerschieber *4* parallel zum Motor ein Magnetventil *5* geschaltet ist, dessen beidseitige Durchflußöffnung eine Drosselstelle *6* aufweist. Das Magnetventil *5* weist eine Steuereinrichtung *7* auf, die mit der des Hauptsteuerschiebers *4* derart gekuppelt ist, daß das Magnetventil *5* sich in geschlossener Stellung befindet, wenn der Hauptsteuerschieber *4* das normale Drehen des Motors steuert, aber bei dem Schließen des Hauptsteuerschiebers *4* in seine geöffnete Stellung gebracht wird, und andererseits eine nicht im Bild dargestellte Steuereinrichtung im Sinne des Schließens hat, die mit einem Detektor *8* für eine bestimmte Winkelstellung des Motors *3* relativ zu der gewünschten Halt-Stellung gekuppelt ist. Außerdem ist an die beiden Speiseleitungen *1*; *2* des Motors *3* zwischen diesem und dem Hauptsteuerschieber *4* parallel zum Motor *3* eine Gruppe von zwei, in einander entgegengesetzten Richtungen durchlässigen Ventilen *9*; *10* nebeneinander geschaltet. Einzelheiten der Erfindung gehen aus der Offenlegungsschrift hervor.

msr 7127

Summierung für ein Mehrkreishydrauliksystem

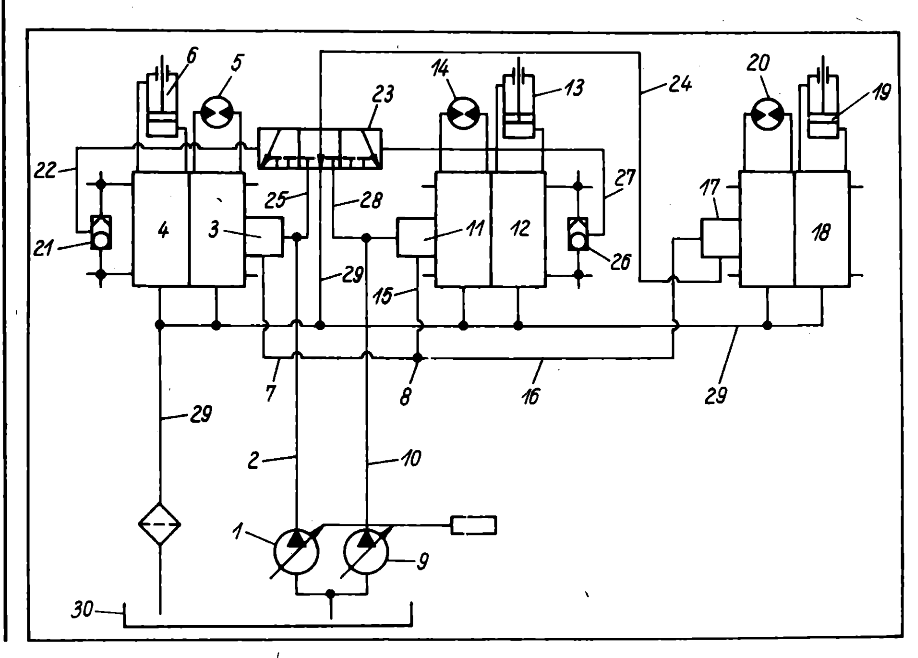
DDR-WP 134979, Klasse F 15 B, Gruppe 11/16, 3 Ansprüche, 2 Zeichnungen, Inhaber: Dr.-Ing. *Peter Prusseit*, Dipl.-Ing. *Hermann Teichmann*, *Wolfgang Meißner*, *Volker Rieger*, Dipl.-Ing. *Klaus Bräuer*, Dipl.-Ing. *Hans Reinbrecht*, Anmeldung: 16. März 1978, Ausgabe: 4. April 1979

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Summierung für ein Mehrkreishydrauliksystem zu schaffen, durch das die Zuverlässigkeit der Geräte erhöht wird und die Herstellungskosten gesenkt werden. Die erfindungsgemäße Summierung findet Verwendung bei hydraulisch angetriebenen Erdbewegungsmaschinen, insbesondere bei hydraulisch angetriebenen Universalbaggern. Es besteht auch die Möglichkeit, die Summierung bei hydraulisch betriebenen Kranen zu verwenden.
Vom Druckstromerzeuger *1* gelangt die Druckflüssigkeit über die Leitung *2*, das Druckdifferenzventil *3* und den Steuerblock *4* zu den Verbrauchern *5*; *6*. Werden die Verbraucher *5*; *6* nicht betätigt, fließt die Druckflüssigkeit über das Druckdifferenzventil *3* und die Leitung *7* zum Knoten *8*.
Der Druckstromerzeuger *9* versorgt über die Leitung *10*, das Druckdifferenzventil *11* und den Steuerblock *12* die Verbraucher *13*; *14*. Werden die Verbraucher *13*; *14* nicht betätigt, dann fließt die Druckflüssigkeit über die Leitung *15* gleichfalls zum Knoten *8*.
Bei Nichtbetätigung der Steuerblöcke *4*; *12* steht über die Leitung *16*, das Druckdifferenzventil *17* und den Steuerblock *18* der summierte Druckflüssigkeitsstrom der Druckstromerzeuger *1*; *9* den Verbrauchern *19*; *20* zur Verfügung.

Soll der Verbraucher *6* die summierte Druckflüssigkeit erhalten, dann wird der Steuerblock *4* so geschaltet, daß der Druckmittelstrom vom Druckstromerzeuger *1* über die Leitung *2*, dem Druckdifferenzventil *3* zum Verbraucher *6* geleitet wird. Über ein in die Steuerleitungen eingebautes ODER-Ventil *21* gelangt Steuerdruck über die Steuerleitung *22* zum 4/3 Wegeventil *23* und verstellt dies in Stellung I. Der Druckstrom vom Druckstromerzeuger *9* fließt über die Leitung *10*, das Druckdifferenzventil *11*, die Leitung *15*, den Knoten *8*, die Leitung *16*, das Druckdifferenzventil *17*, die Leitung *24*, das in Stellung I befindliche 4/3 Wegeventil *23*, die Leitung *25* und das Druckdifferenzventil *3* ebenfalls zum Verbraucher *6*. Soll der Verbraucher *13* die summierte Druckflüssigkeit erhalten, dann wird der Steuerblock *12* so geschaltet, daß der Druckmittelstrom vom Druckstromerzeuger *9* über die Leitung *10*, das Druckdifferenzventil *11* zum Verbraucher *13* geleitet wird. Über ein ODER-Ventil *26* gelangt Steuerdruck über die Steuerleitung *27* zum 4/3 Wegeventil *23* und verstellt dies in Stellung II. Der Druckmittelstrom vom Druckstromerzeuger *1* fließt über die Leitung *2*, das Druckdifferenzventil *3*, die Leitung *7*, den Knoten *8*, die Leitung *16*, das Druckdifferenzventil *17*, die Leitung *24*, das in Stellung II befindliche 4/3 Wegeventil *23*, die Leitung *28* und das Druckdifferenzventil *11* ebenfalls zum Verbraucher *13*.
Wird keiner der Verbraucher *5*; *6*; *13*; *14*; *19*; *20* betätigt, dann fließt die von den Druckstromerzeugern *1*; *9* erzeugte Druckflüssigkeit über das in Stellung 0 befindliche 4/3 Wegeventil *23* und über die Abflußleitung *29* in den Ölbehälter *30* zurück.
Das 4/3 Wegeventil *23* kann auch durch ein 4/2 Wegeventil ersetzt werden. Es besteht auch die Möglichkeit die Verbraucher *5* und *14* zu summieren. Schaltungsmöglichkeiten sind angegeben.

msr 7062

1; 9 Druckstromerzeuger, 2; 7; 10; 15; 16; 22; 24; 25; 27; 28; 29 Leitungen, 3; 11; 17 Druckdifferenzventile, 4; 12; 18 Steuerblöcke, 5; 6; 13; 14; 19; 20 Verbraucher, 8 Knoten, 21; 26 ODER-Ventil, 23 Wegeventil, 30 Ölbehälter



Simulation von Bedienungssystemen. Von *L. A. Lifšic* und *E. A. Mal'c.* Moskau: Sovetskoe radio 1978. 248 Seiten, 36 Bilder, 16 Tafeln.

Aufgaben der rationellen Prozeßorganisation und der Ermittlung effektiver Strukturen, die bei der weiteren Intensivierung der Produktion von großer Bedeutung sind, erfordern eine sehr detaillierte prozeß- bzw. systembezogene Modellierung, insbesondere die Abbildung des unmittelbaren Produktionsablaufs und der dabei auftretenden Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse. Sie führen deshalb zwangsläufig zur algorithmischen Modellierung. Eine große Klasse komplizierter Systeme läßt sich dabei als Systeme vom Bedienungstyp darstellen.
Die Autoren geben ein Programmpaket an, dessen Module zur Beschreibung typisierter Bedienungssysteme geeignet sind. Darauf aufbauend werden Netze von Bedienungssystemen behandelt, wobei Fragen der Verbindung der Teilmodelle zu verschiedenartigen Strukturen (Netzen von Bedienungssystemen) und ihre entsprechende rechentechnische Realisierung behandelt werden. Ausführlich wird darüber hinaus die Optimierung derartiger komplizierter Bedienungssysteme untersucht, wobei die Autoren vorschlagen, stochastische Suchverfahren bzw. die dynamische Optimierung anzuwenden. Konkrete Ergebnisse werden jedoch nicht vorgestellt. Neben der Erläuterung der einzelnen Programme sind ausführliche Programmablaufpläne und ALGOL-Programme enthalten.

B 1256 *J. A. Müller*

Statistische Verfahren für Technische Meßreihen. Arbeitsbuch für den Ingenieur. Von *B. John.* München/Wien: Carl Hanser Verlag 1979. 563 Seiten, 70 Bilder, zahlr. Zahlentafeln und Vordrucke.

Die Verfahren der mathematischen Statistik erlangen gegenwärtig eine ständig steigende Anwendung auch in der industriellen Praxis zur Analyse von Erzeugnissen und Prozessen, begünstigt durch die Einbeziehung programmierbarer Klein- und Taschenrechner.

Das Arbeitsbuch orientiert konsequent und sehr ausführlich nur auf die praktische Anwendung der statistischen Verfahren, ohne auf die theoretischen Zusammenhänge einzugehen.

Der Autor versteht es gut, anhand zahlreicher Beispiele und deren Interpretation fast sämtliche in der Praxis auftretenden Fragestellungen für Meßreihen darzulegen, wobei jedoch an einigen Stellen der Rechenweg zu ausführlich aufgezeigt wird.

In insgesamt 12 Kapiteln werden behandelt:

- Stichprobenproblem, Aufbereitung der Stichproben, Stichprobenfunktionen
- Normalverteilung und Verteilungen von Stichprobenfunktionen einschließlich Näherungsformeln für die numerische Berechnung
- Prüfverfahren auf Zufälligkeit und Normalverteilung, Ausreißertest
- Prüfverfahren für Mittelwert und Streuung, Vergleich zweier Mittelwerte und zweier Streuungen
- lineare Regression.

Ein ausführlicher Programmablaufplan dient dazu, das jeweils vorliegende Problem zu analysieren und das zweckmäßigste Verfahren zur Lösung herauszufinden. Jedes Verfahren wird rezeptartig beschrieben, ohne eine analytische Begründung zu geben. Geschickt gewählte und einfach überschaubare Zahlenbeispiele erleichtern dabei das Verständnis und die praktische Handhabung. Zahlreiche Vordrucke, Kennlinien (Prüfkennlinien für Testverfahren), Skizzen, Tabellen und das stets gleiche methodische Vorgehen werden sicher dem Praktiker entgegenkommen, wenn er sich über ein spezielles statistisches Verfahren informieren will.
Es kann jedoch nicht übersehen werden, daß mit einem solchen rezeptiven Arbeitsbuch eine große Gefahr verbunden ist, die darin besteht, daß sehr leicht Fehler und Irrtümer bei der Rechnung und Interpretation entstehen können, falls die theoretischen Zusammenhänge beim Anwender nicht bekannt sind.

Für die breitere Anwendung des Arbeitsbuches auch in Produktionsbereichen wäre die Aufnahme von Verfahren der statistischen Qualitätskontrolle zu empfehlen.

B. 1371 *W. Sauer*

Statistische Modellierung in technisch-ökonomischen Systemen. Von *D. I. Golenko, S. E. Livšic* und *S. Š. Kesler.* Leningrad: Izd-vo Leningradskogo unta. 264 Seiten, 23 Bilder, 15 Tafeln.

Ziel der vorliegenden Monografie ist die Untersuchung einiger methodologischer und methodischer Probleme bei der Steuerung wissenschaftlicher Forschungs- und Konstruktionstätigkeit auf der Grundlage der Systemanalyse. Wesentliche Hilfsmittel sind dabei die Graphentheorie (Netzplantechnik) und die Simulation. Ausführlich werden Aspekte der Analyse komplizierter stochastischer Systeme und entsprechende Ergebnisse auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Theorie der stochastischen Prozesse dargelegt. Ausgehend von einer kritischen Analyse der vorhandenen Methoden, wie z. B. PERT, werden Verteilungsfunktionen konstruiert, die bezüglich der Operationen Faltung und Maximierung invariant sind. Große Beachtung finden Methoden, Modelle und Algorithmen der Optimierung eines Komplexes von Operationen nach dem Kriterium der minimalen Zeit und dem minimalen Aufwand. Besondere Beachtung findet die optimale Ressourcenverteilung in hierarchischen Systemen.
Im zweiten Teil der Arbeit behandeln die Autoren moderne Tendenzen und Probleme der Netzplantechnik, wie z. B. Alternativnetzwerke und ihre Modellierung sowie Fragen der Entscheidungsfindung mit Hilfe derartiger alternativer Netzwerkmodelle.

B 1222 *K.-H. Winter*

Entwurf digitaler Steuerungen (Kolloquiumsbericht). Herausgeber: *K. H. Fasol.* Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag KG 1979. 250 Seiten, 111 Bilder.

Inhalt dieses Kolloquiumsberichtes sind die im wesentlichen überarbeiteten Vorträge eines Kolloquiums, das im Februar 1978 vom Lehrstuhl für Meß- und Regelungstechnik an der Abteilung Maschinenbau der Ruhr-Universität veranstaltet wurde.
Die Entwicklung der industriellen Steuerungstechnik verlangt im Hinblick auf den zunehmenden Einsatz hochintegrierter elektronischer Bauelemente und Mikrorechner eine kritische Einschätzung der in den letzten beiden Jahrzehnten entwickelten Methoden der Steuerungssynthese. Die damit zusammenhängende Neuorientierung war Anlaß für das Kolloquium, wobei vor allem die Übernahme und Weiterentwicklung von Ergebnissen und Verfahren der klassischen Synthese und die Entwicklung neuer flexibler Methoden, die besser als die bisherigen den Eigenschaften und Parametern der neuen Bauelemente angepaßt sind und diese bei der Synthese komplexer Systeme ausschöpfen, im Mittelpunkt der Vorträge standen. Die Vorträge waren in drei Gruppen unterteilt:
Automaten und Schaltkreistheorie, mit Bezügen zur ingenieurtechnischen Anwendung (8 Vorträge); Entwurfsverfahren und Programmsysteme, in denen

besonders auf Erfahrungen mit Methoden des rechnergestützten Entwurfs eingegangen wurde (5 Vorträge); Programmierbare Steuerungen, unter besonderer Berücksichtigung industrieller Automatisierungssysteme und -konzepte (6 Vorträge).
Die Vorträge waren Basis einer umfangreichen Diskussion über gegenwärtige und künftige Arbeiten auf dem Gebiet des Entwurfs digitaler Steuerungen. Ergebnisse dieser Diskussion sind zwar im Bericht nicht ausdrücklich zu finden, dürften jedoch in den überarbeiteten Vorträgen enthalten sein. Für Spezialisten auf dem Gebiet des Entwurfs digitaler Steuerungen enthält der Band viele nützliche Ergebnisse und Anregungen.

B 1369 *E. Oberst*

Glatte dynamische Systeme. Moskau: Mir. 256 Seiten.

Der Sammelband 4 aus der Reihe „Mathematik — Neues aus der internationalen Wissenschaft" enthält die Übersetzung von 8 Arbeiten zur Theorie glatter dynamischer Systeme, die nach 1970 veröffentlicht wurden. Sie sollen den Leser über die Entwicklung auf diesem Gebiet der Mathematik informieren. Allerdings ist zum Verständnis dieser Arbeiten erforderlich, daß der Leser mit den Grundlagen dieser Theorie aus der entsprechenden Literatur zu dieser Wissenschaftsdisziplin weitgehend vertraut ist und darüber hinaus solide mathematische Kenntnisse hat.
Behandelt werden in den 8 Arbeiten typische Eigenschaften derartiger Systeme, die Beziehungen zwischen dynamischen und homologen Invarianten glatter Abbildungen. Es werden eine Klassifikation der Y-Systeme gegeben sowie einige Aspekte der Theorie der Systeme mit integralen Invarianten angeführt. Darüber hinaus wird in zwei Übersichtsarbeiten versucht, dem Leser einen größeren Überblick über den Entwicklungsstand dieser Wissenschaftsdisziplin zu geben.

B 1248 *J. Peters*

Nichtlineare Optimierung. Von *R. Horst*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1979. 314 Seiten mit 82 Beispielen und 93 Übungsaufgaben.

In den letzten Jahren erschien eine ganze Reihe von hervorragenden Veröffentlichungen zur nichtlinearen Optimierung. Das entspricht einem Bedürfnis der Praxis, da viele Aufgabenstellungen der Identifikation, Approximation, Lösung von Gleichungssystemen, Strukturoptimierung, optimalen Steuerung u. a. auf die allgemeine Aufgabe der nichtlinearen Optimierung mit Nebenbedingungen $f(x_0) = \min \{f(x)/x \in X\}$ führen, wobei $f(x)$ oder mindestens eine der den zulässigen Bereich X bestimmenden Funktionen nichtlinear ist. Die Anwendung der verschiedenartigen in der Literatur angebotenen Verfahren zur Lösung der nichtlinearen Optimalprobleme hängt weitgehend von der vorhandenen A-priori-Information über das Problem ab und setzt Kenntnisse über die Theorie der nichtlinearen Optimierung voraus.
Die in der Reihe „Theorie und Praxis des Operations Research" herausgegebene Publikation zur nichtlinearen Optimierung ermöglicht dem Leser, der an der Auswahl eines geeigneten Verfahrens und seiner praktischen Anwendung interessiert ist, die erforderlichen Kenntnisse zu erwerben. Sie stellt sich das Ziel, beim Leser „ein kritisches Verständnis für die Lösungskonzepte und deren Anwendung zu wecken" und darüber hinaus die wichtigsten theoretischen Grundlagen zu vermitteln. Dabei verzichtet der Autor auf nicht unbedingt notwendige theoretische Ausführungen und Beweise und beschränkt sich auf die mathematischen Grundlagen (wie konvexe Mengen und Funktionen), die Optimalitätsbedingungen für Extremwerte mit und ohne Nebenbedingungen sowie die Konvergenztheorie. Die starke Betonung der Verfahren und ihrer algorithmischen Beschreibungen sowie ihre ausführliche Behandlung in 82 vordringlich theoretischen Beispielen erleichtert dem genannten Leserkreis die Arbeit mit dem Buch. Das wird auch nicht geschmälert durch Verwendung einiger für uns wenig üblicher Begriffe. 93 Übungsaufgaben geben darüber hinaus Gelegenheit zur Überprüfung der erworbenen Kenntnisse.
Spürbar ist die langjährige Lehrerfahrung des Autors, der Vorlesungen zur nichtlinearen Optimierung vor unterschiedlichen naturwissenschaftlichen und technischen Fachrichtungen gehalten hat.

B 1318 *J.-A. Müller*

Analyse der Autoregression. Moskau: Statistika 1978. 232 Seiten, 5 Bilder, 30 Tafeln.

Viele Zusammenhänge der objektiven Realität führen auf Modelle der Autoregression bzw. auf Regressionsmodelle mit Autoregression der Residuen. In diesem Sammelband werden ausgewählte englische und amerikanische Arbeiten zur Entwicklung und Analyse derartiger Modelle zusammengefaßt. Die Autoren *Jenkins*, *Parks*, *Pierce*, *Bartlett*, *Orcutt* u. a. sind bekannte Vertreter der mathematischen Statistik. Sie behandeln verschiedenartige Ansätze und Methoden zur Parameterschätzung und untersuchen deren Eigenschaften. Behandelt werden solche wichtigen Fragen wie die Überprüfung der Linearitätshypothese, die effektive Schätzung eines Systems von Regressionsgleichungen mit Autoregression der Residuen, Verteilung der Autokorrelation der Residuen in Regressionsmodellen, Kriterien für die Güte der Modelle, Schätzung von Modellen mit verteilten Lags. Entwickelt wird die verallgemeinerte Methode der kleinsten Quadrate bzw. die nichtlineare Methode der kleinsten Quadrate nach *Marquardt*.

B 1249 *K.-H. Winter*

Füllstandsmessung flüssiger Metalle, insbesondere von Eisen, unter Atmosphärenbedingungen mit elektrischen Mitteln. Von *H. Kahlen*. Opladen: Westdeutscher Verlag 1978. 48 Seiten, 17 Bilder.

Es ist ein Bericht über experimentelle Untersuchungen, die Aufschluß über die Einsatzmöglichkeiten der thermischen Ionenemission zur Füllstandsmessung an Schmelzoberflächen geben. Ausgangspunkte sind die technologische Bedeutung einer konstanten Gießspiegelhöhe in der Kokille beim Stahl-Stranggießverfahren, die bekannten Füllstandsmeßverfahren für flüssige Metalle und die für die thermische Emission im Vakuum bekannten Ergebnisse. Der Versuchsplan und die labortechnische Ausführung beginnen mit dem Nachweis, daß bei Umgebungsbedingungen flüssige und erstarrte Eisenoberflächen positive Ionen emittieren, die in einer der Elektronenröhre entsprechenden Schaltung (Kokillenfüllung als Anode und ein darüber angeordnetes Fangblech als Katode) als Emissionsstrom meßbar sind. Im weiteren wird die Abhängigkeit von Temperatur, Abstand, Fläche, Katodenspannung und Zeit untersucht und in einer empirischen Gleichung zusammengeführt. Die Diskussion der Querempfindlichkeit des Füllstandssignals (im Bericht Skalenfehler genannt) führt zu der vorläufigen Ansicht, daß beim kontinuierlichen Gießvorgang wahrscheinlich nur die Stahlzusammensetzung als größte Störung in Betracht kommt. Die experimentellen Untersuchungen sollen in einem Stahlwerk fortgesetzt werden.

Der Bericht schließt mit der Einschätzung, daß die thermische Emission als relative Anzeige oder als Nullindikator für einen Regler genutzt werden kann. Maßstab für die Anwendungsaussichten sind die z. Z. besten Verfahren, wie infrarote Gießspiegelabbildung und Isotopendurchstrahlung. Die meßtechnischen, ökonomischen und sicherheitstechnischen Vorteile müßten den Nachteil des notwendigen Platzbedarfs in der Kokille ausgleichen. Der Bericht ist wertvoll durch die klare, ausführliche Darlegung der experimentellen Befunde. Er ist z. B. Neuerern, Rationalisatoren und Automatisierungstechnikern zu empfehlen, in deren Tätigkeitsbereich der Abstand eines hoch erhitzten oder geschmolzenen Metalls von Interesse ist.

B 1262 *E. Kaiser*

Im Forschungs- und Entwicklungszentrum von MERA-LUMEL in Zielona Gora VR Polen wurde ein **Meßwertumformer** für die Messung von elektrischen und nichtelektrischen Größen entwickelt. Der Meßwertumformer P 5 wandelt die gemessenen Größen in ein Gleichstrom-Einheitssignal um. Die Ausführung ist für eine Installation in offenen Räumen geeignet. Der Umformer arbeitet unter folgenden Bedingungen: Umlufttemperatur —20 °C bis +55 °C; rel. Luftfeuchtigkeit 30 ... 80% (95% bei +35 °C), Vibrationen (Frequenz 0 bis 600 Hz, Beschleunigung ß bis 10 m/s², Amplitude 1,5 mm), externes Magnetfeld 0 bis 400 A/m, Speisespannung 220 $V^{+10\%}_{-15\%}$.

(Technik in Polen, 10/79)

Neue **Gaswarngeräte** wurden im Produktionszentrum EMAG in Cieszyn/VR Polen entwickelt und in die Produktion übergeleitet. Die mit der Bezeichnung „Barbara ROW-3-EI" produzierten Geräte dienen zur kontinuierlichen Messung der Gaskonzentration (z. B. Methan in Bergwerken). Die Geräte sind mit einem in Prozent CH_4-geeichten Meßgerät ausgerüstet. Die auf die Frontplatte ausgeführten funkensicheren Ausgänge dienen u. a. zur Fernsignalisierung bei Alarmzuständen und allg. zur Fernmessung bzw. zum Abschalten des Netzes.
Parameter: Druckluftspeisung 280 bis 700 KPa, Regelbereich der Druckminderung 160 bis 200 KPa, max. Druckluftverbrauch 10 m³/h, Spannung der Meßkammer 3,7 V, Nennstrom 4 A, Frequenz 300 bis 500 Hz, Meßbereiche 0 bis 1,25% CH_4, Abmessungen 275 mm × 185 mm × 360 mm, Masse 14,4 kg.

(Technik in Polen, 10/79)

Bei dem im Heft 3/1980 veröffentlichten Beitrag „Automatische Produktionserfassung und Abrechnung durch Kopplung Verwiegestation — Prozeßrechner" muß im Abschnitt 1. und 2.1. entsprechend der TGL 31 548 für die Einheit der Masse statt kp die SI-Einheit kg und im Abschn. 3 bei der Temperaturdifferenz statt °C die SI-Einheit Kelvin stehen. Die Veränderungen innerhalb der physikalischen Größen auf SI-Einheiten wurden von den Verfassern übersehen.

P/E-Wandler für Arbeitspneumatik

Im Heft 2/1980 unserer Zeitschrift (S. 107) wurde o. a. Wandler vorgestellt. Alle Interessenten an diesem Wandler werden gebeten, sich an folgende Adresse zu wenden:
VEB Möbelkombinat Zeulenroda, Abt. S/L/N, 6570 Zeulenroda, Karl-Marx-Straße 67.
Dieser Betrieb bemüht sich um die zentrale Fertigung dieser universell einsetzbaren Baugruppe und ist deshalb auf eine Bedarfsermittlung angewiesen.

5. Problemseminar Automatisierte Systeme diskreter technologischer Prozesse (ASUTP)

Die Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden führt im Rahmen des Weiterbildungszentrums Mathematische Kybernetik, Rechentechnik und Informationsverarbeitung vom 24. bis 28. November 1980 in Gaußig bei Dresden das o. g. Problemseminar durch.

Folgende Probleme werden in Form von Übersichtsvorträgen zum internationalen Stand sowie Kurzvorträgen über Ergebnisse von Forschungsarbeiten der Teilnehmer behandelt:

- EDV-Anlagen, Prozeßrechenanlagen und Mikrorechner in automatisierten Informationssystemen technologischer Prozesse
- Fertigungskontrolle und -lenkung, Steuerung und Optimierung von diskreten Prozessen einschl. Simulation solcher Prozesse
- geräte-, verfahrens- und programmtechnische Probleme der Datenerfassung, Informationsgewinnung und -nutzung in Fertigungsprozessen einschl. Anwendung von Mikrorechnern und Rechnersystemen
- Steuerung von NC-Maschinen, Fertigungskomplexe
- Ausbildung an Hoch- und Ingenieurschulen auf dem Gebiet ASUTP.

Informationen erteilt:
Prof. Dr. sc. techn. *H. Stahn*, Sektion Informationsverarbeitung, TU Dresden, DDR-8027 Dresden, Mommsenstr. 13.

Fachtagung „Prozeßrechner- und Mikrorechnersysteme zur Intensivierung von Produktions- und TUL-Prozessen"

17. und 18. September 1980 in Wittenberg-Piesteritz, Karl-Liebknecht-Platz, Kulturhaus „Wilhelm Pieck".
Die Tagung wird vom VEB Kombinat Agrochemie Piesteritz in Zusammenarbeit mit der TH Leipzig, FA Prozeßrechentechnik im Fachverband „Chemische Technik" durchgeführt. Folgende Schwerpunkte werden behandelt:

- Einsatz von Prozeß- und Mikroprozeßrechnern zur Prozeßsicherung, -stabilisierung und -optimierung
- Automatisierung von TUL-Prozessen mit Prozeß- und Mikrorechnern
- Rechentechnische Realisierung eines hierarchischen Mehrrechnersystems zur operativen Kontrolle und Lenkung der Produktion
- Besichtigung und Dokumentation von 4 Einsatzfällen im VEB Stickstoffwerk Piesteritz (Parallelveranstaltungen).

Interessenten wenden sich bitte bis **15. Juli 1980 an:**
VEB Stickstoffwerk Piesteritz, Abt. ORZ, Ing. *B. Sauer* (Tel. Luth. Wittenberg 68 2407 bzw. 68 4028). Übernachtungsmöglichkeiten stehen in beschränktem Umfang zur Verfügung.

Wissenschaftliche Tagung der TH Leipzig

Zum Thema
Intensivierung der Technologie und Projektierung im Automatisierungs- und Elektroanlagenbau
wird gemeinsam mit dem Kiewer Polytechnischen Institut, der KDT und dem Kombinat Elektroenergieanlagenbau Leipzig am 20. bis 22. Mai 1981
o. a. Tagung durchgeführt.
Ausgehend von der Bedeutung des Automatisierungs- und Elektroanlagenbaus im Perspektivzeitraum steht die Aufgabe, über eine wissenschaftliche Durchdringung der Prozesse in der Projektierung und Technologie bei der Herstellung bzw. Montage von Anlagen sowie der Prozesse zur Steuerung und Kontrolle dieser Anlagen im Anwendungsbereich, einen Beitrag zur Erhöhung der Effektivität in der Volkswirtschaft zu leisten.
Es sind folgende Themenkomplexe vorgesehen:

1. Rechnergestützte Projektierung von Binärsteuerungen auf der Basis der binären Prozeßanalyse und eines algorithmierten Steuerungsentwurfes
2. Projektierung und Einsatz programmierbarer Automatisierungstechnik
3. Rationalisierung des Projektierungsprozesses von Elektroenergieanlagen
4. Technologische Vorbereitung und Durchführung von Fertigungs- und Montageprozessen im Elektroanlagenbau
5. Technologie- und anwendungsgerechte Anlagengestaltung
6. Prozeßautomatisierung in ausgewählten Bereichen der chemischen Industrie und in Elektroenergieversorgungssystemen.

Verantwortlich für die Organisation:
Prof. Dr. sc. techn. *S. Altmann*, Direktor der Sekt. Elektroenergieanlagen der TH Leipzig. Anfragen bzw. Meldungen für wissenschaftliche Beiträge sind zu richten an:
TH Leipzig, Sekt. Elektroenergieanlagen, 7030 Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132,
Kennwort: WK 81.

KURZFASSUNGEN

Alder, J.; Strüver, M.: IA 5.6.0.

Prozeßablaufplan und Steuerungsablaufplan — Hilfsmittel zum algorithmischen Entwurf von Steuerungen

msr 23 (1980) H. 6, S. 302–306

Es wird ein Verfahren vorgestellt, das insbesondere für verfahrenstechnische Anlagen ausgearbeitet wurde und zum Handwerkszeug des Technologen werden sollte. Der Automatisierungsfachmann und der Technologe erhalten eine gemeinsame Basis zur Verständigung. An einem einfachen Beispiel wird das Entwurfsverfahren erläutert, dabei werden Vorschläge zur Ergänzung der TGL 14091 und TGL 33247 unterbreitet.

Schwansee, H.; Geyler, S.: IA 5.3.

Automatische Registrierung von Stückzahlen und effektiven Arbeitsdauern

msr 23 (1980) H. 6, S. 307 und 308

Der Einsatz spezieller Registriergeräte für die Erfassung von diskreten Daten in Stückgutprozessen ist mit vertretbarem Aufwand möglich. Eine Gerätevariante, bestehend aus Zähleinheiten, Registriereinrichtung und Ablaufsteuerung, wird vorgestellt und diskutiert. Als Datenträger dienen Lochstreifen. Die Zähleinheiten können vorgeschriebene Operationsdauern berücksichtigen.

Beichelt, F.: IA 4.1.4.; 4.1.5.

Optimale Kontrolle reparierbarer Systeme bei Beschränkung der mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit

msr 23 (1980) H. 6, S. 308–311

Im Beitrag wird das Problem der Erzielung maximaler Dauerverfügbarkeit eines technischen Systems bei vorgegebener oberer Schranke für die mittleren Betriebskosten je Zeiteinheit im Rahmen eines bekannten Inspektionsmodells der Zuverlässigkeitstheorie gelöst. Dabei werden die Fälle unterschieden, daß über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zufälligen Lebensdauer des Systems vollständige bzw. nur partielle Information vorliegen.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Übersicht über die Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler für lineare zeitinvariante Systeme

msr 23 (1980) H. 6, S. 315–322

Der Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der deterministischen Entwurfsverfahren für dezentrale Regler ohne Informationskopplung bei linearen zeitinvarianten Regelstrecken. Die Verfahren werden in drei Gruppen unterteilt, von denen die ersten beiden die Erweiterung des Kompensator- bzw. Optimalreglerentwurfes unter Berücksichtigung der Dezentralisierung des Reglers umfassen und die dritte Gruppe Verfahren zum Entwurf der dezentralen Teilregler an den entkoppelten Teilsystemen beinhaltet.

Syhre, J.; Hammer, V.: IA 1.1.0.; 4.5.

Verrechnung vorzeichenbehafteter Dualzahlen

msr 23 (1980) H. 6, S. 326–329

Die Verrechnung vorzeichenbehafteter Zahlen hat sowohl in der digitalen Rechentechnik als auch in der Automatisierungstechnik große Bedeutung. Dabei spielt die Komplementdarstellung von Zahlen eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Beitrag werden die Grundlagen für diese Zahlendarstellung beschrieben und eine in TTL-Technik realisierte Schaltung für die Addition und Subtraktion zweier Dualzahlen angegeben.

Tarlós, B.: IA 1.1.

FOCUS — eine neue Simulationssprache

msr 23 (1980) H. 6, S. 333–337

Die Sprache FOCUS zur Simulation kombinierter kontinuierlicher und diskretereignisorientierter Modelle wird in ausgewählten Aspekten dargestellt. Hierzu gehören Speicherplatzverwaltung, Verteilungsfunktionen, für die Simulation neuartige Integrationsalgorithmen, Komplexblöcke, die auf Modelle für ökonomische Objekte abgestimmt sind. Das Simulationssystem arbeitet mit etwa 50 Subroutinen, benutzt keinen Präcompiler und nutzt ausschließlich an FORTRAN-Compiler. Der Anwender erhält zusätzlich FOCUS-Fehlerinformationen für die Programmverifikation. Das Konzept ist abgeschlossen. Bestimmte Änderungen aufgrund weiterer Einsatzerfahrungen sind noch möglich.

Trautwein, N.; Wolf, H.: IA 2.4.1.1.; 5.6.0.

Zusammenhang zwischen der Analyse des zu führenden technologischen Prozesses und der Synthese einer asynchronen Binärsteuerung

msr 23 (1980) H. 6, S. 337–339

Die Kodierung einer asynchronen Binärsteuerung muß gefährliche (kritische) Wettläufe ausschließen. Je mehr Informationen über den zu führenden technologischen Prozeß vorliegen, um so geringer ist der Aufwand zur Lösung dieses Kodierungsproblems. Als Nebenprodukt entsteht bei der Kodierung ein Zustandsverträglichkeitsdiagramm (Verträglichkeiten unter gewissen Einschränkungen). Für die zielgerichtete Bestimmung der Zusatzinformationen über den technologischen Prozeß, die zur Vereinfachung der Kodierung und Erhöhung der Verträglichkeiten führen, wird ein Dialog Projektant-EDV-Anlage vorgestellt.

РЕЗЮМЕ

Alder, J.; Strüver, M.: ИА 5.6.0.

Схемы последовательности операций процесса и управления — вспомогательное средство для алгоритмической разработки управлений

msr 23 (1980) № 6, стр. 302–306

Представлен метод, разработанный в частности для технологических установок, который должен служить пособием для технолога. Специалисть в области автоматизации и технолог получают общую базу понимания. На простом примере пояснен метод разработки, при этом даны предложения по дополнению стандартов ТГЛ 14091 и ТГЛ 33247.

Schwansee, H.; Geyler, S.: ИА 5.3.

Автоматическая регистрация штучного количества и эффективной продолжительности работы

msr 23 (1980) № 6, стр. 307 и 308

Применение специальных регистрирующих приборов для получения дискретных данных в штучных процессах возможно с приемлимыми затратами. Представлен и рассмотрен приборный вариант, состоящий из счётных блоков, блока регистрации и программного управления. Носителями данных служат перфоленты. Счетные блоки могут учесть предписанные продолжительности операций.

Beichelt, F.: ИА 4.1.4.; 4.1.5.

Оптимальный контроль ремонтопригодных систем при ограничении средних эксплуатационных расходов по каждой единице времени

msr 23 (1980) № 6, стр. 308–311

В статье решена проблема получения максимального коэффициента готовности технической системы при заданном верхнем пределе для средних эксплуатационных расходов по каждой единице времени в рамках известной модели проверки теории надежности. При этом различают случаи, в которых по распределению вероятности случайного срока службы системы имеется полная или только частичная информация.

Lunze, J.: ИА 2.3.1.0.

Обзор методов разработки децентрализованных регуляторов для линейных систем, инвариантных во времени

msr 23 (1980) № 6, стр. 315–322

В статье дан обзор хода методов детерминистической разработки децентрализованных регуляторов без связи информации при линейных объекгах регулирования, инвариантных во времени. Методы распределены на три группы, первые две из которых охватывают расширение разработки компенсатора или оптимального регулятора с учетом децентрализации регулятора, а третья группа включает методы разработки децентрализованных частичных регуляторов развязывающих подсистем.

Syhre, J.; Hammer, V.: ИА 1.1.0.; 4.5.

Расчет двоичных цифр, определяющих знак

msr 23 (1980) № 6, стр. 326–329

Расчет цифр, определяющих знак имеет большое значение как в области цифровой вычислительной техники, так и в области техники автоматизации. При этом изображение дополнений цифр играет важную роль. В данной статье указаны основы этого изображения цифр, а также схема сложения и вычитания двух двоичных цифр, осуществимая в технике ТТЛ.

Tarlós, B.: ИА 1.1.

ФОКУС — новый язык моделирования

msr 23 (1980) № 6, стр. 333–337

Представлен в выбранных аспектах язык ФОКУС для моделирования комбинированных непрерывных и дискретных моделей, ориентированных на события. К этим принадлежат управление ячеек запоминающего устройства, функции распределения, новые интегральные алгоритмы для моделирования, комплексные блоки, согласованные с моделями для экономических объектов. Система моделирования работает с примерно 50 стандартных подпрограмм, не использует предкомпилятор, а использует исключительно компилятор ФОРТРАН. Потребитель дополнительно получает ФОКУС информацию ошибок для проверки программы. Концепт закончен. Еще возможны определенные изменения на основе другого опыта применения.

Trautwein, N.; Wolf, H.: ИА 2.4.1.1.; 5.6.0.

Связь между анализом управляемого технологического процесса и синтезом асинхронного двоичного управления

msr 23 (1980) № 6, стр. 337–339

Кодирование асинхронного двоичного управления должно исключать опасные (критические) состязания. Чем больше имеется информация об управляемом технологическом процессе, тем меньше затраты на решение данной проблемы кодирования. Как вспомогательный продукт при кодировании получена диаграмма совместности состояний (совместности при определенных ограничениях). Для целеустремленного определения дополнительной информации о технологическом процессе, которая приводит к упрощению коидрования и повышению совместностей, представлен диалог между проектантом и установкой обработки электронных данных.

SUMMARY

Alder, J.; Strüver, M.: IA 5.6.0.

Process Flow Chart and Control Flow Chart — Means for the Algorithmic Design of Controls

msr 23 (1980) No. 6, pp. 302—306

The authors present a method which was elaborated particularly for technological plants and is to become a tool of the technologist. The automation specialist and the technologist obtain a common base for communication between them. By means of a simple example the design method is explained, with this proposals for completing the TGL 14091 adn TGL 33247 being presented.

Schwansee, H.; Geyler, S.: IA 5.3.

Automatic Registration of Piece Numbers and Effective Working Durations

msr 23 (1980) No. 6, pp. 307 and 308

The application of special registration devices to the acquisition of discrete data in discontinuous processes is possible by reasonable expense. The authors present and discuss and apparatus variant consisting of counting units, registration device and sequential control. Punched paper tape serves as data carrier. The counting units may take into consideration prescribed operation durations.

Beichelt, F.: IA 4.1.4.; 4.1.5.

Optimal Maintenance of Reparable Systems with Bounded Mean Operation Costs per Time

msr 23 (1980) No. 6, pp. 308—311

Within the scope of a known inspection model of the reliability theory the author solves the problem of obtaining maximal permanent availability of a technical system with given upper bound of the mean operation costs per time. With this, two cases are distinguished correspondingly to complete and partial information, respectively, about the probability distribution of the random system life time.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Survey on Design Methods of Decentralized Controllers for Linear Time-Invariant Systems

msr 23 (1980) No. 6, pp. 315—322

The authors gives a survey on the state of the art of the deterministic design methods for decentralized controllers without information coupling in the case of linear time-invariant plants. The methods are divided into three groups, the first two of which comprising the extension of the compensator and optimal controller design with taking into account the decentralization of the controller and the third group concerning design methods of the decentralized partial controllers in the decoupled partial systems.

Syhre, J.; Hammer, V.: IA 1.1.0.; 4.5.

Treatment of Signed Binary Numbers

msr 23 (1980) No. 6, pp. 326—329

The treatment of signed numbers is important both in digital computing and in automation. With this, the complement representation of numbers plays an essential rôle. In this contribution the authors describe the fundamentals for this number representation and present a TTL-circuit for adding and subtracting two binary numbers.

Tarlós, B.: IA 1.1.

FOCUS — A New Simulation Language

msr 23 (1980) No. 6, pp. 333—337

By means of selected aspects the author presents the language FOCUS for the simulation of combined continuous and discrete event-oriented models. The simulation system is based upon about 50 subroutines, doesn't use a precompiler and works exclusively with a FORTRAN-compiler. The user obtains additionally FOCUS-error informations for programme editing. The FOCUS-conception is settled now but certain changes for taking into consideration further application experiences are still possible.

Trautwein, N.; Wolf, H.: IA 2.4.1.1.; 5.6.0.

Relation Between Process Analysis and Synthesis of an Asynchronous Binary Control

msr 23 (1980) No. 6, pp. 337—339

The encoding of an asynchronous binary control has to exclude dangerous hazards. The more informations about the process to be controlled exist, the smaller the expense is for solving this coding problem. In the coding a state compatibility diagram arises as a secondary result. The authors present a designer-computer dialogue for the single-minded determination of the additional information about the technological process which lead to a simplification of the coding and an increase of the compatibilities.

RÉSUMÉ

Alder, J.; Strüver, M.: IA 5.6.0.

Le diagramme synoptique de processus et le diagramme synoptique de commande — des moyens pour le projet algorithmique de commandes

msr 23 (1980) No. 6, p. 302—306

Les auteurs présentent une méthode qui était élaborée en particulier pour des processus technologiques et doit devenir un outil du technologicien. L'automaticien et le technologicien obtiennent une base commune pour la communication entre eux. A l'aide d'un simple, la méthode de projet est expliquée, à cela des propositions pour compléter les TGL 14091 et 33247 étant présentées.

Schwansee, H.; Geyler, S.: IA 5.3.

L'enregistrement automatique de nombres de pièce et durées de travail effectives

msr 23 (1980) No. 6, p. 307 et 308

L'emploi d'enregistreurs spéciaux pour l'acqzisition de données discrètes dans des processus discontinus est possible par une raisonnable dépense. Les auteurs présentent et discutent une variante d'appareil contenant des unités de comptage, un dispositif enregistreur et une commande séquentielle. Des bandes perforées servent de porteurs des données. Les unités de comptage peuvent tenir compte de durées d'opération prescrites.

Beichelt, F.: IA 4.1.4.; 4.1.5.

La maintenance optimale de systèmes réparables á restriction des moyens dépens opératoires par unité de temps

msr 23 (1980) No. 6, p. 308—311

Dans le cadre d'un modéle d'inspection connu de la théorie de la fiabilité, l'auteur résout le problème d'obtenir la disponibilité permanente maximale d'un systéme technique près une limite supérieure donnée pour les moyens dépens opératoires par unité de temps. A cela, on distingue deux cas selon les informations complète ou partielle sur la distribution de probabilité de la durée de vie aléatoire du système.

Lunze, J.: IA 2.3.1.0.

Un aperçu sur les méthodes de projet de régulateurs décentralisés en cas depr ocessus linéaires invariants en temps

msr 23 (1980) No. 6, p. 315—322

L'auteur donne un aperçu sur l'état présent des méthodes de projet déterministiques pour des régulateurs décentralisés sans couplage informationnel en cas d'objets à asservir linéaires invariants en temps. Les méthodes sont divisées en trois groupes, dont les deux premières comprenant l'extension du projet par compensateur et régulateur optimum en tenant compte de la décentralisation du régulateur et le troisième groupe concernant des méthodes pour le projet des régulateurs partiels décentralisés dans les systèmes partiels découplés.

Syhre, J.; Hammer, V.: IA 1.1.0.; 4.5.

Le traitement de nombres binaires avec signe

msr 23 (1980) No. 6, p. 326—329

Le traitement de nombres avec signe est important non seulement dans la technique de calcul numérique mais aussi dans l'automation. Avec cela, la représentation complémentaire de nombres joue un rôle important. Dans cette contribution, les auteurs décrivent les fondements pour cette représentation de nombre et présentent un montage TTL pour l'addition et la soustraction de deux nombres binaires.

Tarlós, B.: IA 1.1.

FOCUS — un nouveau langage de simulation

msr 23 (1980) No. 6, p. 333—337

A l'aide d'aspects choisis, l'auteur présente le langage FOCUS pour la simulation de combinés modèles continus et discrete orientés sur événement. Le système de simulation est basé sur environ 50 sous-routines, n'utilise pas un précompilateur et travaille exclusivement à l'aide d'un compilateur FORTRAN. L'usager obtient additionnellement des informations d'erreur FOCUS pour l'arrangement de programme. La conception de FOCUS est achevée mais de certains changements pour tenir compte d'autres expériences d'emploi sont encore possibles.

Trautwein, N.; Wolf, H.: IA 2.4.1.1.; 5.6.0.

La relation entre l'analyse de processus et la synthèse d'une commande binaire asynchrone

msr 23 (1980) No. 6, p. 337—339

La codification d'une commande binaire asynchrone doit exclure des hasards dangereux. Plus des informations sur le processus à commander existent, plus la dépense est tetite pour la résolution de ce problème de codage. Dans la codification, un diagramme de compatibilité d'état se forme comme un résultat secondaire. Les auteurs présentent un dialogue automaticien-ordinateur pour la détermination systématique des informations additionnelles sur le processus technologique qui conduisent à une simplification du codage et augmentation des compatibilités.

Bestellschein



Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

Relaisschutztechnik in Elektroenergiesystemen
Von *H. Clemens* und *K. Rothe*.
1. Aufl., 324 Seiten, 258 Bilder, 24 Tafeln,
24,— M,
Bestell-Nr. 5527164 ....

Starkstromanlagen
Planung · Gestaltung · Berechnung
Von *J. Gester* und *G. Schmidt*.
7., unveränderte Aufl., 362 Seiten,
251 Bilder, 34 Tafeln,
20,— M,
Bestell-Nr. 5523657

Konstruktionslehre
Grundlagen
Von *D. Schlottmann*.
2., durchgesehene Aufl., 428 Seiten,
422 Bilder, 60 Tafeln,
28,— M,
Bestell-Nr. 5524297

VEM-Handbuch Leistungselektronik
Von *R. Lappe*.
2., durchgesehene Aufl., 476 Seiten,
396 Bilder, 52 Tafeln,
34,— M,
Bestell-Nr. 5526110

Darüber hinaus können Sie alle in der „msr" angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsleiter	Dipl.-Ök. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing.-Ök. *Ruth Gutjahr*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362); Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	DDR-Anzeigen: DEWAG Berlin, 1026 Berlin, Rosenthaler Str. 28—31 (Telefon: 2362776), und alle DEWAG-Zweigstellen. Anzeigenpreisliste Nr. 6 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter; örtlicher Buchhandel; VEB Verlag Technik
UdSSR	Gebiets- und Städtische Abteilungen von Sojuzpečat und Postämter
SVR Albanien	Spedicioni Shtypit te Jashtem, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR Polen	ARS POLONA, Krakowskie Przedmiecie 7, 00-068 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difurzaii Presei, Palatul Administrativ, București
ČSSR	PNS, Vinohradská 46, 12043 Praha 2 PNS, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
Ungarische VR	P.K.H.I., P.O.B. 16, 1426 Budapest
Republik Kuba	Instituto Cubano del Libro, Centro de Exposición, Belascoain 864, La Habana
VR China	China National Publications Import Corporation, P.O. Box 88, Peking
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
BRD und Westberlin	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstr. 111, Berlin (West) 30; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52, sowie weitere Grossisten und VEB Verlag Technik, DDR-102 Berlin, Postfach 293
Österreich	Globus Buchvertrieb, Höchstädtplatz 3, A-1206 Wien
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstr. 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; VEB Verlag Technik, DDR-1020 Berlin, Postfach 293

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Genehmigungspflichtige Beiträge müssen den Vermerk enthalten, daß beim Autor ein schriftliches Einverständnis des Betriebes bzw. des Instituts vorliegt.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1979 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Optimal'noe upravlenie v dinamičeskich sistemach (Optimale Steuerung in dynamischen Systemen). Izd-Ural'skogo nauč. centra ANSSSR. 3. Quart. 1979. NK-No. 18–79 (93)

[2] Optimizacija nestacionarnych zadač matematičeskogo programmirovanija (Optimierung instationärer Aufgaben der mathematischen Optimierung). Izd-Ural'skogo nauč. centra ANSSSR. 3. Quart. 1979. NK-No. 18–79 (94).

[3] *Ketner, K. K.; Kozlova, I. A.*: Rasčety perechodnych elektromechaničeskich processov v avtonomnych elektroenergetičeskich sistemach na EVM (Berechnung der elektromechanischen Übergangsprozesse in autonomen elektroenergetischen Systemen auf der EDVA). Zinatne (Latv. SSR). 3. Quart. 1980. NK-No. 18–79 (119).

[4] Voprosy dinamiki i pročnosti. Sbornik. Vyp. 37: Avtomatizacija metodov analiza i sinteza mechaničeskich sistem (Fragen der Dynamik und Festigkeit. Sammelband. Ausg. 37. Automatisierung der Methoden zur Analyse und Synthese von mechanischen Systemen). Zinatne (Latv SSR). 3. Quart. 1980. NK-No. 18–79 (132)

[5] Problema slučajnogo poiska. Sbornik. Vyp. 9 Optimizacija sistem obrabotki informacii (Probleme der stochastischen Suche. Sammelband. Ausg. 9: Optimierung der Systeme zur Informationsverarbeitung). Zinatne (Latv SSR). 3. Quart. 1980. NK-No. 18–79 (142).

[6] *Pankov, V. V.*: Avtomatizirovannaja obrabotka učetnoj informacii (Automatisierte Verarbeitung von Abrechnungsinformation). Finansy. 3. Quart. 1980. NK-No. 19–79 (46).

[7] *Prochorenko, V. A.* u. a.: Uskorenie vnedrenija konstruktorskich razrabotok s pomoscju EVM (Beschleunigte Einführung von Konstruktionen mit Hilfe der EDVA). Belarus'. 2. Quart. 1980. NK-No. 19–79 (126).

[8] *Gabdulchaev, B. G.*: Optimal'nye approksimacii rešenij linejnych zadač (Optimale Approximation von Lösungen linearer Aufgaben). Izd-vo Kazan. un-ta. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (26).

[9] *Kovalenko, I. N.*: Analiz redkich sobytij pri ocenke effektivnosti i nadežnosti sistem (Analyse seltener Ereignisse bei der Abschätzung der Effektivität und Zuverlässigkeit von Systemen). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (129).

[10] Osnovnye voprosy teorii i praktiki nadežnosti (Grundlegende Fragen von Theorie und Praxis der Zuverlässigkeit). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (133).

[11] *Sil'vestrov, D. S.*: Polumarkovskie processy i ich primenenie v teorii massovogo obsluživanija i nadežnosti (Halbmarkovsche Prozesse und ihre Anwendung in der Bedienungs- und Zuverlässigkeitstheorie). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (143).

[12] *Chemming, R. V.*: Cifrovye fil'try (Digitale Filter. Übers. aus dem Engl.). Sov. radio. 3. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (149).

[13] *Jarlykov, M. S.*: Primenenie markovskoj teorii nelinejnoj fil'tracii v radiotechnike (Anwendung der Markov-theorie nichtlinearer Filter in der Funktechnik). Sov. radio. MK-No. 20–79 (156).

[14] *Vajsbord, E. M.; Žukovskij, V. I.*: Vvedenie v differencial'nye igry neskol'kich lic i ich priloženija (Einführung in Differentialspiele mehrerer Personen und ihre Anwendung). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (157).

[15] *Golubincev, V. O.* u. a.: Evoljucija universal'nych EVM (Entwicklung universeller EDVA). Sov. radio. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (158).

[16] *Gurevič, V. I.*: Upravlenie vvodom-vyvodom v ES EVM (Steuerung von Eingabe-Ausgabe in den EDVA der ESER-Reihe). Sov. radio. 3. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (159).

[17] *Zemljanskij A. A.* u. a.: Osnovy operacionnoj sistemy ES EVM (Grundlagen des Operationssystems der EDVA der ESER-Reihe). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (160).

[18] *Klykov, Ju. I.; Gor'kov, L. N.*: Banki dannych prinjatija rešenij (Datenbanken zur Entscheidungsfindung). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (161).

[19] Osnovy avtomatizacii upravlenija proizvodstvennymi processami (Grundlagen der Automatisierung der Steuerung von Produktionsprozessen). Sov. radio. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (162).

[20] *Panfilov, I. V.; Polovko, A. M.*: Vyčislitel'nye sistemy (Rechentechnische Systeme). Sov. radio. 2. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (163).

[21] *Souček, B.*: Mikroprocessory i mikro-EVM (Mikroprozessoren und Mikro-EDVA. Übers. aus dem Engl.). Sov. radio. 2. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (165).

[22] *Hoffman, L.*: Sovremennye metody zaščity informacii (Moderne Methoden des Informationsschutzes. Übers. aus dem Engl.). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (166).

[23] *Čumakov, N. M.; Serebrjanyj, E. I.*: Ocenki effektivnosti složnych techničeskich ustrojstv (Schätzung der Effektivität komplizierter technischer Anlagen). Sov. radio. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (167).

[24] *Šapiro, S. I.*: Myšlenie čeloveka i pererabotka informacii EVM (Denken des Menschen und Informationsverarbeitung der EDVA). Sov. radio. 1. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (168).

[25] Verojatnostnye metody i kibernetika. Vyp. 17 (Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Kybernetik. Ausg..17). Izd-vo Kazan. un-ta. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (177).

[26] Vyčislitel'nye metody i matematičeskoe obespečenie EVM. Vyp. 2 (Rechentechnische Methoden und mathematische Unterlagen der EDVA. Ausg. 2). Izd-vo Kazan. un-ta. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (179).

[27] Priem i obrabotka informacii v složnych informacionnych sistemach. Vyp. 10 (Empfang und Verarbeitung von Information in komplizierten Informationssystemen. Ausg. 10). Izd-vo kazan. un-ta. 4. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (195).

[28] *Degtjarev, Ju. I.*: Metody optimizacii (Methoden der Optimierung). Sov. radio. 3. Quart. 1980. NK-No. 20–79 (326).

[29] *Sokolov, R. V.*: Ekonomiko-informacionnoe modelirovanie processov preobrazovanija informacii v ASUP (Ökonomisch-informationelle Modellierung der Prozesse der Informationstransformation in ASUP). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1980. NK-No. 21–79 (75).

[30] *Tereščenko, L. Ja.*: Upravlenie obučeniem s pomoščju EVM (Steuerung des Studiums mit Hilfe der EDVA). Izd-vo Leningr. un-ta. 3. Quart. 1980. NK-No. 21–79 (76).

[31] Avtomatizirovannaja sistema analiza provedenija morksogo biogeneza (Automatisiertes System zur Analyse der Durchführung der Biogenese in Meeren). Izd-vo Leningr. un-ta. 3. Quart. 1930. NK-No. 21–79 (167).

[32] *Majorov, S. A.* u. a.: EVM dlja vsech (EDVA für alle). Znanie. 2. Quart. 1980. NK-No. 21–79 (181).

[33] *Pekelis, V. D.*: Kibernetičeskaja smes' (Kybernetisches Sammelsurium). Znanie. 4. Quart. 1980. NK-No. 21–79 (182).

[34] Voprosy sistemotechniki. Vyp. 5: Struktura informacionnogo i matematičeskogo obespečenija (Fragen der Systemtechnik. Ausg. 5: Struktur der informationellen und mathematischen Grundlagen). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1980. NK-No. 21–79 (190).

Standard - Interfaces der Meßtechnik

Von Dr.-Ing.
Günther Naumann,
Prof. Dr. rer. nat. habil.
Wolfgang Meiling
und Dipl.-Ing.
Andreas Stscherbina.
Herausgegeben
von Prof. Dr.-Ing. habil.
Harry Trumpold und
Prof. Dr.-Ing. habil.
Eugen-Georg Woschni

Reihe Meßtechnik.
284 Seiten, 129 Bilder,
67 Tafeln, Kunstleder,
38,— M.
Bestell-Nr. 5528466

Für ingenieurtechnisches Personal aus Forschung, Entwicklung und Projektierung auf den Gebieten der Meßtechnik, Automatisierungstechnik und Informationsverarbeitung, Lehrkräfte und Studierende der genannten Gebiete.
Die vielfältigen Aufgaben der Meßtechnik und der Automatisierungstechnik zwingen zum rationellen Einsatz der erforderlichen Elektronik. Voraussetzung dazu ist eine Vereinheitlichung der Anschlußbedingungen der einzelnen Funktionseinheiten. Empfehlungen dieser Art werden unter dem Begriff Standard-Interface zusammengefaßt. Das Buch vermittelt die theoretischen Grundlagen für die Vereinheitlichung dieser Anschlußbedingungen, wobei zweckmäßige und praktisch bewährte Realisierungen durch zahlreiche Beispiele erläutert werden.

Aus dem Inhalt:
Bedeutung eines Standard-Interface
Grundsätzlicher Inhalt eines Standard-Interface
Charakteristische Systemstrukturen
Klassifizierungsmerkmale von Standard-Interfaces
Wichtigste Merkmale einiger Standard-Interfaces
Kopplung von Funktionseinheiten mit unterschiedlichen Interfaces
Ein- und Ausgabeschnittstellen bei Rechnern.

Soeben erschienen

Auslieferung durch den Buchhandel



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN